

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica



**MORTEROS DE BARRO ESTABILIZADOS CON FIBRAS
DE PAJA, ESPARTO Y SISAL PARA SU USO COMO
REVESTIMIENTOS**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Vanesa Gonzalo Sánchez

2012

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica

Máster Universitario Innovación Tecnológica en Edificación

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**MORTEROS DE BARRO ESTABILIZADOS CON FIBRAS
DE PAJA, ESPARTO Y SISAL PARA SU USO COMO
REVESTIMIENTOS**

Autor

Vanesa Gonzalo Sánchez

Director/a o Directores/as

Mercedes del Río Merino

Vicente Sánchez Gálvez

Subdirección de Investigación, Doctorado y Postgrado

2012

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Mercedes y Vicente, por guiarme en este camino y ayudarme en todo momento.

A la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Guadalajara de la Universidad de Alcalá de Henares, y en especial a Andrés, por facilitarme todas las instalaciones necesarias para la realización de ensayos.

A Carmen por estar ahí, a Antonio y Juan Antonio por prestarme ayuda siempre que lo he necesitado.

A mi familia, por su apoyo.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

La tierra es un material utilizado desde hace muchos años y adaptado adecuadamente a las exigencias y necesidades de la sociedad actual, presenta interesantes aplicaciones desde el punto de vista del diseño y construcción de hoy en día.

Tras ser parcialmente olvidada durante estos últimos dos siglos, siendo más acusado este olvido en los países industrializados, la tierra está resurgiendo con fuerza en su uso como material de construcción debido esencialmente a dos factores: la reciente preocupación medioambiental y la crisis económica existente.

Es incuestionable, pues a la vista de todos queda, que el patrimonio legado por este material pobre, como algunos lo califican, es cuanto menos extenso, pero incluso así junto con los prejuicios iniciales, las limitaciones reales de la tierra como material, reducen notablemente los usos y empleos de ésta en la actualidad. A pesar de esta realidad, es cierto y se podría decir que tiene como origen la crisis del petróleo de 1973, el número de construcciones llevadas a cabo con este material y la cantidad de construcciones existentes levantadas con barro y rehabilitadas de manera tradicional, se han visto incrementadas paulatinamente en estas dos últimas décadas, recuperándose técnicas que habían quedado en desuso.

Conocer de manera más profunda las ventajas y limitaciones que la tierra ofrece ha suscitado un gran interés entre algunos sectores de investigación, lo que ha conducido a dar un paso más en la innovación de este material y mejorar así, sus características de resistencia, de comportamiento frente al agua... En el trabajo presente se pretende estudiar el comportamiento de morteros de barro estabilizados con fibras naturales tales como la paja, el esparto o el sisal, para su uso como revestimientos sobre soportes de tierra.

ABSTRACT

Earth is a material that has been used for many years and that has effectively adapted to the demands and needs of today's society. Furthermore, it presents interesting applications from the point of view of today's design and construction.

After being partially forgotten for the last two centuries, especially in industrialized countries, soil is becoming strongly popular in its use as a building material due mainly to two factors: new environmental concerns and the current economic crisis.

Unquestionably the heritage left by this "poor material", as some tend to name it, is at least extensive. Even so and regarding the initial prejudices, the real limitations of earth as such, reduce significantly its common usage nowadays. Despite this fact, it is true and one could say that its was due to the 1973's oil crisis, the number of constructions carried out with this material and the amount of existing constructions built with mud and rehabilitated traditionally have been increased gradually over the last two decades, recovering techniques that so far had fallen into disuse.

Researchers have recently become attracted by the advantages and limitations that clay can offer. This has led to a step further in innovation regarding this material and thus, to improve, for instance, its strength or its water proof resistance...The purpose of this research is to study the behaviour of mud mortar that has been stabilized with natural fibers such as straw, esparto grass or sisal, when it is used as coatings on substrates of mud.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
1_ INTRODUCCIÓN	1
1.1_ APROXIMACIÓN A LA ARQUITECTURA DE TIERRA	1
1.1.1_ LOS ORÍGENES	1
1.1.2_ SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	12
1.1.2.1_ El adobe	12
1.1.2.2_ La tapia	13
1.1.2.3_ El cob	15
1.1.2.4_ El BTC	16
1.1.2.5_ Otros sistemas	17
1.1.3_ PATOLOGÍA PRESENTADA EN LAS CONSTRUCCIONES CON TIERRA	18
1.2_ REVESTIMIENTOS SOBRE SOPORTES DE TIERRA	22
2.1.1_ CONCEPTO DE REVESTIMIENTO	23
2.1.2_ PROTECCIÓN TRADICIONAL DE MUROS	24
2.1.2.2_ Pinturas y lechadas de cal	24
2.1.2.3_ Calicatrado	25
2.1.2.4_ Entablados	26
2.1.2.5_ Revocos	26
2.1.3_ INNOVACIÓN EN LA MEJORA DE PROTECCIÓN DE MUROS	28
1.3_ SITUACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA EN EL MUNDO	31
1.4_ SITUACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA EN ESPAÑA	35
2_ JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	37
2.1_ JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	37
2.2_ OBJETIVOS GENERALES	38
2.3_ OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38

3_ METODOLOGÍA	39
4_ ESTADO DEL ARTE	40
5_ DESARROLLO DEL TRABAJO	50
5.1_ ESTUDIO DOCUMENTAL	50
5.1.1_ APROXIMACIÓN AL MUNICIPIO DE HITA (GUADALAJARA)	50
5.1.2_ CONSTRUCCIÓN CON TIERRA EN HITA: ESTUDIO DE CASOS ACTUALES. FICHAS DESCRIPTIVAS DEL INMUEBLE Y DEL ESTADO DEL REVESTIMIENTO	54
5.2_ ENSAYOS Y EXPERIMENTACIÓN	66
5.2.1_ PARÁMETROS A ESTUDIAR DE LOS MORTEROS COMO REVESTIMIENTO	66
5.2.1.1_ Durabilidad e impermeabilidad	68
5.2.1.2_ Características estéticas finales	69
5.2.2_ MATERIALES	70
5.2.2.1_ Tierra	70
5.2.2.2_ Fibras naturales	72
5.2.2.2.1_ Paja	75
5.2.2.2.2_ Esparto	76
5.2.2.2.3_ Sisal	77
5.2.3_ PLAN DE ENSAYOS, UBICACIÓN Y NORMATIVA	79
5.2.4_ ENSAYOS EN SUELOS	81
5.2.4.1_ Toma de muestras	81
5.2.4.2_ Ensayos de campo	83
5.2.4.2.1_ Ensayo del olor	83
5.2.4.2.2_ Ensayo de la mordedura	83
5.2.4.2.3_ Ensayo del color	83
5.2.4.2.4_ Ensayo del tacto	84
5.2.4.2.5_ Ensayo del brillo	84
5.2.4.2.6_ Ensayo de sedimentación	85
5.2.4.2.7_ Ensayo de la cintilla	85
5.2.4.2.8_ Ensayo de la caída de la bola	86

5.2.4.2.9_ Ensayo del lavado de manos	87
5.2.4.3_ Ensayos de laboratorio. Caracterización de suelos	87
5.2.4.3.1_ Análisis granulométrico de suelos por tamizado. UNE 103101:1995	87
5.2.4.3.2_ Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande. UNE 103103:1994	89
5.2.4.3.3_ Determinación del límite plástico de un suelo. UNE 103104:1993	90
5.2.4.3.4_ Elección del suelo	91
5.2.5_ ENSAYOS EN MORTEROS	94
5.2.5.1_ Determinación del contenido de humedad	94
5.2.5.2_ Ensayo de retracción	96
5.2.5.3_ Ensayos de comportamiento frente al agua	98
5.2.5.3.1_ Ensayo por goteo	98
5.2.5.3.2_ Ensayo de absorción de agua por capilaridad	100
5.2.5.3.3_ Ensayo de intemperismo	102
5.2.5.4_ Ensayos de resistencia mecánica	103
5.2.5.4.1_ Ensayo de flexión	103
5.2.5.4.2_ Ensayo de compresión	104
6_ ANÁLISIS DE RESULTADOS	106
6.1_ ENSAYO DE RETRACCIÓN	106
6.2_ ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA	107
6.3_ ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA	116
6.4_ RESUMEN DE RESULTADOS	125
7_ CONCLUSIONES	128
8_ FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	129
BIBLIOGRAFÍA	130
ANEXO	136
TERMINOLOGÍA	136

1_ Introducción

1.1_ APROXIMACIÓN A LA ARQUITECTURA DE TIERRA

1.1.1_ LOS ORÍGENES

Después de que el hombre cambiara sus hábitos pasando de nómada a sedentario, y de construir sus refugios con materiales livianos y fácilmente transportables a instalarse en las cavernas, se comenzó a utilizar la tierra como material de construcción. Al principio estos primitivos la emplearon para tapar las grandes entradas de las cuevas, y más tarde, tras abandonar las cavernas como hábitat originario, para levantar sus refugios en base a materiales locales. Además de construir con tierra utilizaban otros materiales como la madera, la piedra... pero al contrario de lo que ocurre con la tierra, éstos no están distribuidos por igual en todo el globo terráqueo, y por tanto los vestigios de tribus y civilizaciones antiguas que optaron por la tierra como material para levantar sus edificaciones, son más numerosos y están repartidos por toda la superficie terrestre.

La construcción con tierra no puede atribuirse a ningún autor en concreto, pues surge como respuesta a las necesidades creadas en un conjunto social y desde el Neolítico quedan presentes restos de construcciones realizadas con adobe y tapia.

Se puede afirmar que los primeros vestigios encontrados, con 6.000 y 10.000 años de antigüedad, se corresponden con la antigua Mesopotamia, región ubicada entre los ríos Tigris y Éufrates, coincidente con las zonas no desérticas del actual Irak y la parte



Fig. 1. Mapa de Mesopotamia.

de la zona noreste fronteriza de Siria.

En Tell Mureybet y Ali Kosh, aparecen núcleos habitacionales datados del IX milenio a.C. dónde predominan las casas rectangulares construidas en tapial y con carácter muy rudimentario. Será también en Ali Kosh dónde aparezcan los primeros ladrillos de adobe, aunque de tamaño inferior al que se emplearía más tarde (F. Lozano Gómez). Igualmente se tiene constancia de viviendas construidas con bloques calcáreos y mortero de barro en Mureybet, en el VIII milenio a.C. (F. Lozano Gómez). Estas primeras construcciones evolucionaron hasta construir con técnicas de tierra numerosos edificios en toda la región mesopotámica, incluso gran parte de Babilonia y la conocida Torre de Babel del Antiguo Testamento, cuyo núcleo estaba constituido por ladrillos de adobe (L. Villena, 2006). La ciudad de Uruk, cuyo nacimiento se fecha en el IV milenio a.C. se convirtió en la ciudad más espléndida de Mesopotamia, y los restos de la poderosa muralla de adobe (2.900 – 2.400 a.C.) con una longitud aproximada de 10 kilómetros y construida por el sumerio Gilgamesh, son visibles hoy en día.¹



Fig. 2. Torre de Babel, pintura al óleo sobre lienzo de Pieter Brueghel. 1563.



Fig. 3. Restos del Zigurat Borsippa, supuesta Torre de Babel.

Los famosos zigurats mesopotámicos son templos que se extendían a lo largo de toda la región y que representaban no sólo el poder y el esplendor de la ciudad y su príncipe, sino también la eminencia y la grandiosidad de su dios. Configurados de manera escalonada, servían como vía de comunicación entre la tierra y el cielo, entre los mesopotámicos y los dioses. Los primeros zigurats documentados aparecen durante la llamada III dinastía de Ur (siglo XXI a.C.). Se trataban de construcciones con planta cuadrada o rectangular, en forma de terraza, escalonadas en varios niveles, en el último de los cuales se erigía una capilla o un templo. El núcleo se construía con

¹ Uruk, la primera ciudad de Mesopotamia. *National Geographic Historia*. Nº. 100. Página 36.

adobes secados al sol, revestido con una gruesa capa de ladrillo cocido. El templo en la cima, al que se accedía a través de escaleras situadas de forma perpendicular a la fachada o adosadas a ésta, era de ladrillos esmaltados². En Babilonia, al sur de Mesopotamia, se encontraron restos de quince zigurats, entre ellos los de Eridu, Uruk, Ur, Larsa, Nippur, Kish, Borsippa, Sippar, Dur-Kurigalzu y Babilonia; en Asiria (norte de Mesopotamia), otros cinco: en Assur, Kalhu, Dur-Sharrukin, Kar-Tukulti-Ninurta y Qatara (Tell al-Rimah), a los que se suman los de Choga Zanbil y Tepe Sialk, en Irán.



Fig. 4. Zigurat de Ur.

También palacios y murallas se construían con adobe y ladrillo cocido, tal es el caso de las impresionantes murallas que protegían Nínive, capital de Asiria fundada por el rey Senaquerib, las que fueron construidas en parte con adobe.

También son destacables los restos de muralla encontrados en Jericó (situada en el actual Israel), del 7.000 – 8.000 a.C., asentamiento con una extensión de 4 Has (L.F. Guerrero Baca).

En la región de Anatolia también hay construcciones antiquísimas datadas del VII milenio a.C. Cabe resaltar la ciudad de Catalhöyük, donde en sus 13 Has de extensión se muestra el alto nivel de conocimiento de las técnicas con tierra por parte de sus pobladores, quienes construían las viviendas con paredes de adobe y vigas de madera, enluciéndolas y decorándolas posteriormente. Importante también es el asentamiento de Hacilar, en la parte suroeste de Anatolia, del 6.780±180 a.C. Capadoccia, como ciudad subterránea de tierra, posee una antigüedad de 2.000 años a.C., surgiendo como refugio de la civilización Hitita para resistir las invasiones bárbaras.

² Zigurats, los templos de Mesopotamia. *National Geographic Historia*. N°. 92. Página 40.

La construcción con tierra se extendió desde Mesopotamia, primero a Egipto y al lejano Oriente, y más tarde a Europa a través de Grecia y Roma.

En Egipto, y debido también su clima desértico-árido, los materiales más utilizados, por abundar sobre otros, fueron la tierra (por influencia mesopotámica) y la piedra, principalmente caliza. La tierra se empleaba esencialmente para la elaboración de adobes, para lo cual se extraía lodo del Nilo que mezclado con paja y arena daba como resultado ladrillos muy resistentes que se mantienen hoy en día en construcciones con 5.000 años de antigüedad.

Por ser el material predominante y el más económico, la tierra que conformaba los adobes estaba destinada al uso popular de la población, aunque con ellos también se levantaron templos y edificios religiosos, mientras que la piedra siempre tuvo un carácter más elitista.

En el norte de Egipto se pueden contemplar ruinas datadas del 3.200 a.C. como las poderosas murallas que rodeaban la ciudad de Medinet Habu, realizadas con bloques de tierra cruda.

Se tiene constancia de poblados contruidos enteramente con adobe ya desde el faraón Sesostri II (1.897 – 1.878 a.C.), quien ordenó construir la ciudad de Kahum para que ésta fuera habitada por los obreros encargados de construir la necrópolis real de Il-Lahum. Esta parte de la ciudad destinada a los obreros de constituyó con 200 casas de adobes adosadas y una calle principal.³

Así mismo los faraones eligieron el adobe para la construcción de sus tumbas. Es muy interesante, como en el periodo del Imperio Medio, los reyes, para estrechar lazos con sus predecesores, continuaban con el empleo de materiales de uso tradicional para la ejecución de sus tumbas. De esta manera, aparecen pirámides contruidas con adobe como la de Sesostri I y Sesostri II, ésta última de 48 metros de alto y 106 metros de lado en base, conocida como <<La pirámide brillante>>.⁴

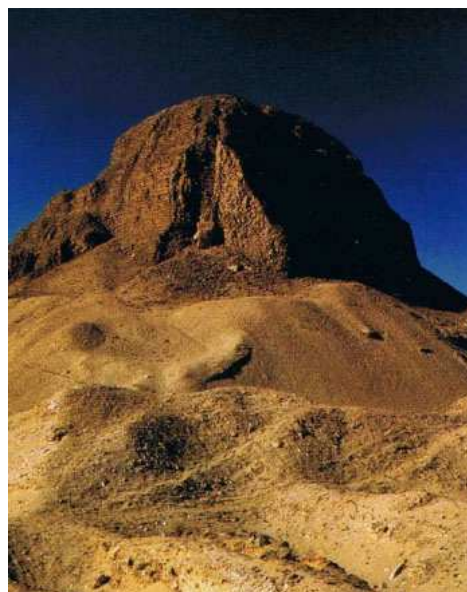


Fig. 5. Pirámide Sesostri II.

³ Escenas de la vida para el más allá. *National Geographic Historia*. N°. 81. Página 41.

Es cierto que debido a la fuerte erosión a la que se veían sometidas continuamente estas edificaciones, son escasos los restos de esta época que se mantienen en la actualidad.

En Asia, los restos más antiguos se corresponden con el 7.000 a.C, en zonas del Himalaya. Cercana a éstas, en el Tibet, se encuentra el Palacio de Potala, hogar de casi todos los Dalai Lama, y construido con las técnicas del adobe y la tapia pero mucho más reciente.

En la región de Kashemir, en la India, se han encontrado vestigios de poblaciones rodeadas de imponentes murallas, fechadas del VI milenio a.C, como la de Srinagar. Actualmente la construcción con sistemas de tierra se encuentra en pleno uso y aún se mantienen 50 millones de casas construidas con este material.

Otro gran ejemplo de construcción con tierra se da en las antiguas ciudades de Mohenjo-Daro, en Pakistán, con una antigüedad de 2.700 años, dónde existe una serie de recintos amurallados organizados para edificios públicos y viviendas, ejecutados con adobe, ladrillo cocido y tierra batida.



Fig. 6. Ruinas de Mohenjo – Daro, Pakistán.

La antigua Ruta de la Seda (fundada en el siglo III a.C y configurada como unión comercial entre oriente y el mediterráneo.), está plagada de ejemplos maravillosos de construcciones con tierra. Este tipo de construcción era el más apropiado ya que la ruta atravesaba regiones desérticas con condiciones ambientales muy duras. Ejemplos

⁴ Escenas de la vida para el más allá. *National Geographic Historia*. N°. 81. Página 40.

destacados son las ciudades de Jiaohe (siglo II a.C.) y Goachang (siglo I a.C.), construidas con tapia y adobe.

En China es destacable la Gran Muralla, comenzada a construirse en el siglo V a.C. Dependiendo de los materiales locales se distinguen diferentes tramos en función de éstos, pero varios de ellos están conformados en tapia de tierra. También en Jiayuguan, aparecen restos de una muralla levantada parcialmente con tapia, correspondiente al periodo de la dinastía Ming (1.368 – 1.644 d.C), (L. Meraz Quintana).



Fig. 7. Tramo de la muralla china realizado con tapia de tierra.

En África son varias las técnicas con tierra que han legado un patrimonio muy valioso hasta hoy en día. Dependiendo de la zona, destaca en su uso el adobe, los terrones y/o las técnicas mixtas, sin embargo, la técnica de la tapia no ha hecho tanta mella en el continente, pues se trata de un sistema más elaborado y los medios han sido los mejores.

Dentro de la Edad Antigua, y previa a la conquista por parte de Egipto, la arquitectura Nubia, como una de las más antiguas del mundo, contaba con construcciones importantes levantadas con tierra. En el antiguo asentamiento de Kerma, en Sudán, fundado en el 2.500 a.C, la ciudad se establecía girando en torno a la deffufa, templo principal compuesto de muros de adobe, al igual que las casas, hechas de adobe, barro y madera (S. Lupo). Los palacios, al igual que los templos, se construían con adobe, como la residencia real levantada a la entrada de la ciudad de Kerma, con muros de 60 metros de largo y 4 metros de altura (S. Lupo).

Esta arquitectura sudanesa tiene una importante conexión con los imperios africanos de Mali, relacionados a su vez con las culturas mediterráneas del Magreb y la de Egipto. Trae como consecuencia una importante similitud de las técnicas de tierra empleadas, así como un estilo arquitectónico con matices comunes.

De Mali es destacable la ciudad de antigua fundación Djenné, poblada desde el año 250 a.C. Ésta se convirtió en un importante centro mercantil y un punto clave de la ruta transahariana del oro. La propiedad cultural "Ciudades antiguas de Djenné" se compone de cuatro sitios arqueológicos: Djenné-Djeno, Hambarkétolo, Kaniana y Tonomba, que junto con el tejido histórico de la actual ciudad de Djenné abarca una superficie de 48,5 hectáreas. Todas ellas son fieles representantes de la arquitectura africana de la región subsahariana pre-islámica, conformando una de las ciudades más antiguas del África Occidental. La autenticidad se basa en el empleo de la tierra en sus construcciones, utilizando diferentes técnicas, pero recurriendo al material local por excelencia. En los siglos XV y XVI, Djenné fue un foco de propagación del Islam y por supuesto es mencionable la mezquita a la que da nombre. Esta mezquita que en su origen data del siglo XIII fue destruida y posteriormente levantada en el siglo XVIII. Se considera el edificio más grande del mundo construido con adobe y está revestido por un revoco de barro. La fachada se decora con madera de palma que a la vez sirve para reparar anualmente el revestimiento exterior, pues se agrieta mucho debido a las fisuras por retracción⁵.



Fig. 8. Mezquita de Djenné, Mali.

Cruzando el Sáhara encontramos tres tipos de construcciones que merecen especial mención, las kasbahs (casas señoriales en la zona del Dadés y ciudadelas fortificadas en el norte), ksar e irherm (ciudades amuralladas pero con matices diferentes, ya que la primera es un término árabe y la segunda bereber), son muy características del anti atlas, del valle del Dadés y de las regiones vecinas. Por destacar alguna de las impresionantes construcciones que se exhiben en el sur de Marruecos, citar el Ksar de

⁵ <http://tectonicablog.com/?p=52731>

Ait Ben Hadu, situado en la provincia de Uarzazat, formado por un conjunto de edificios de adobe rodeados por altas murallas. El conjunto de edificios ofrece un panorama completo de técnicas de construcción con barro. Las construcciones más antiguas datan del siglo XVII, aunque su estructura y técnica se propagaron desde una época muy temprana en los valles del sur de Marruecos.

La kasbah, entendida como casa señorial, se corresponde con un edificio de planta cuadrada, a veces con un patio central y otras con un simple tragaluz. Tienen altos muros y una torre en cada esquina lo que le da aspecto de fortificación. Están conformadas con tapia y adobe. La tapia se reservaba para las partes inferiores de los muros, con un aspecto liso únicamente se abrían en ella pequeños ventanales. En la parte superior se colocaban los adobes a los que se añadía una rica decoración (M. Julivert).

En el norte del Sahara tunecino y libio, donde se refugiaban tribus bereberes, surgió un estilo especial de arquitectura con tierra, una de estas construcciones eran las habitaciones trogloditas, algunas construidas en los flancos de las montañas, como Chenini (Túnez) del siglo XII, y otras eran excavaciones subterráneas en torno a un patio cuadrado, como las de Matmata (Túnez) (M. Julivert).



Fig. 9. Kasbah del Valle del Dadés, Ouarzazate en Marruecos.



Fig. 10. Viviendas en Matmata, Túnez.

Paralelamente, en el continente americano, y más concretamente en Sudamérica, las técnicas de construcción con tierra, antes de la colonización, ya eran empleadas por sus pobladores. La tapia, aunque experimentó su mayor apogeo tras la llegada de los españoles, ya se venía utilizando por las comunidades originarias de Argentina. Muestra de ello es el yacimiento arqueológico de Palo Blanco, en la provincia de Catamarca, con 2.000 años de antigüedad.



Fig. 11. Ciudadela de Chan Chan en Trujillo, Perú.

Otra de las técnicas muy utilizadas era la “pared de mano “, o “bolos de barro”, se utilizaba en la construcción de murallas, para su ejecución se empleaban bolas de tierra sin moldear, que se iban apilando y presionando en tongadas de 80 cm. de altura, las cuales se iban superponiendo progresivamente. Pero sin duda, las técnicas más utilizadas serían la quincha y el adobe, y un claro ejemplo es la ciudadela de Chan Chan, en Trujillo (Perú), de los siglos IX – XV. La zona monumental, con una extensión de 600 Has, es la ciudad más grande de tierra de la América Precolombina. Cuenta con nueve grandes complejos rectangulares delimitados por gruesas y altas paredes de tierra, dentro de los cuales se encuentran edificaciones de carácter público, religioso y comercial. La técnica más empleada era el adobe. La tapia era a menudo decorada con frisos que representan motivos abstractos, zoomorfos y antropomorfos. Las zonas residenciales eran principalmente construidas con quincha o bahareque.

En Centroamérica también son numerosos los restos arqueológicos que denotan un rico pasado arquitectónico de tierra. Por poner un ejemplo, citar la ciudad prehispánica de Teotihuacán, en México, construida entre los siglos I y VIII d.C. La Pirámide del Sol y la Pirámide de la Luna son los edificios más importantes de la ciudad y consisten en bloques de piedra volcánica que cubren un núcleo de adobe reforzado con pilares y los troncos de árboles. La tierra también se utilizaba para hacer muros de adobe, pavimentos, azoteas y como morteros para el revestimiento de paramentos interiores y exteriores.

En Norteamérica, las antiguas comunidades indias también frecuentaban la tierra como material de construcción. Claros ejemplos son los yacimientos de la cultura Chaco (siglos IX – XIII) y el parque de Mesa Verde (siglos X – XXI). En ambos casos se utilizaba la tierra como mortero de agarre para las piedras que conformaban los muros pero también, como revestimientos de paredes, suelos, terrazas... En el pueblo

de Taos, situado en el valle de un pequeño afluente de Río Grande, se sitúa un asentamiento que data de los siglos XI – XV, construido principalmente con adobe y que hace gala de la cultura de los pueblos indianos de Arizona y Nuevo Méjico.

En Europa, y debido a la gran influencia del dominio romano y árabe, el patrimonio de tierra existente es bastante rico. Se emplearon todo tipo de técnicas casi por igual, a excepción del bahareque como tal, más utilizado en Latinoamérica: adobe, tapia, cob, técnicas mixtas... En Alemania se construía con adobe desde el siglo VI a.C. y un ejemplo de ello son los utilizados para construir los muros del fuerte de Heuneburg, cercano al lago Constance.⁶

En Italia, la utilización de adobe en tiempos arcaicos queda restringido a dos finalidades: la defensa (muralla urbana) y la habitación (vivienda rural o urbana). Obras de defensa como la Agger Terreus, reconocidas en el Lacio y en Etruria meridional, son las formas más antiguas, pudiéndolas fechar entre los siglos VII y VI a.C. (G. Barbetta i Solà). Después de un largo periodo en el que la construcción con tierra se abandonó prácticamente en su totalidad durante los siglos XV – XVII, se fueron retomando las antiguas técnicas con tierra utilizadas por el contacto de pueblos extranjeros con este país: Yugoslavia, Grecia, España (principalmente aragoneses en la región de Cagliari)...

Francia también cuenta con un extenso patrimonio de construcciones con tierra, por regiones, se construía más con tapia, adobe o torchis (una especie de entramado más utilizado en zonas con menos recursos). La ciudad de Lyon es rica en ruinas galoromanas de adobe y cob desde el siglo I. Este uso de la tierra parece desaparecer durante la Edad Media pero desde el siglo XVI, y con el auge de este material en el siglo XIX, la tierra reaparece con más fuerza cuando poblaciones agrícolas, atraídas por la prosperidad de Lyon, se establecieron en las afueras trayendo consigo un importante conocimiento de estas técnicas generalizadas en las zonas rurales (Dauphiné, Beaujolais...). Hoy en día, Lyon tiene una trama urbana de edificios de tierra apisonada sin comparación con ninguna otra ciudad europea.

En Reino Unido, la utilización de cob, aun siendo una técnica muy antigua, se extendió a partir de los siglos XVIII y XIX, quedando numerosos *cottages* en los condados de Devon y Cornwall, al oeste; en el Valle del Glamorgan y en la península de Gower, en

⁶ <http://www.artehistoria.jcyl.es/historia/contextos/298.htm>

Gales; Donegal Bay en Ulster y Munster, en el sur-oeste de Irlanda; y Finisterre, en la Bretaña, donde muchas casas han sobrevivido más de 500 años.

También en Inglaterra y Escandinavia es muy común la construcción con tepes en los siglos XVII y XVIII. Esta técnica consiste en extraer los bloques de tierra con raíces de la última capa de un suelo arcilloso sobre el que crece la hierba. Para el levantamiento de muros, los tepes se colocan con las raíces hacia abajo sin utilizar ningún mortero de unión.

En España, los restos de construcciones con tierra son muy antiguos y están extendidos por casi todo el territorio nacional. Entre el adobe y la tapia, las dos técnicas más empleadas dentro de la península, era más común el adobe por su mayor simplicidad, principalmente en asentamientos urbanos. De la protohistoria hay documentados asentamientos Tartésicos con adobe, pero sin duda, son mucho más numerosos los yacimientos Ibéricos. Tal es el caso del yacimiento layetano del Ibérico Pleno en el complejo arqueológico de Can Gambús I (Sabadell, Vallès Occidental), dónde se encontraron restos de adobes (R. Balsera Morano, J.M. Coll Riera, J. Roig Buxó).

En el sur y por la influencia de los árabes, son numerosos los restos de construcciones con tierra que perviven en la actualidad. Es de vital importancia destacar la Medina Al Zaharat en Córdoba (siglos III – XIV) y la Alambra en Granada, junto con el barrio del Albaicín en la misma ciudad (siglos XIII – XVI). También son muy numerosas las construcciones con tierra en Castilla y León, Castilla- La Mancha, Extremadura y Aragón, dónde quedan importantes restos de estos tipos de arquitectura, principalmente en las regiones rurales.



Fig. 12. Vista de la Alhambra, Granada.

1.1.2_ SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

1.1.2.1_ El adobe

El adobe es una masa de barro, normalmente mezclada con paja, moldeada con forma de prisma, de tamaño variable y secado al aire para posteriormente formar muros de fábrica.

La mezcla de barro se compone normalmente de grava, arena, limo y arcilla. Un factor clave es la relación arena–arcilla, puesto que si la cantidad de arcilla es insuficiente, la mezcla no conseguirá una cohesión final adecuada y se desmoronará ante cualquier tipo de acción. En cuanto a la arena, si el porcentaje es inferior al adecuado, aumentará la fisuración por retracción debido al secado de la arcilla. Además, es también la arena la encargada de proporcionar porosidad (y por tanto, resistencia a las heladas).



Fig. 13. Adobes secándose al sol.



Fig. 14. Adobera, molde para hacer adobes.

Los criterios para establecer los porcentajes óptimos de cada componente varían en función de cada autor. Así por ejemplo, en Perú, es común utilizar suelos con un contenido entre un 55 y un 75% de arena, y entre un 25 y un 45% de arcilla. En Méjico se aconseja que el suelo presente entre 45 y 70% de arena, y entre 20 y 40% de arcilla. En Venezuela, se propone un valor más cerrado: 20 % de arcilla y 80 % de arena (G. Vélez Jahn). Del mismo modo, en Chile, se sugiere emplear suelos con un contenido de finos entre 35 y 45%, y un contenido de arena entre el 55 y el 65% (G. Barrios; L. Álvarez; H. Arcos; E. Marchant y D. Rosi). Otro estudio más reciente ha sugerido un contenido de arcilla del 30%, sin decir nada respecto al contenido de arena (V. Ducman.; T. Kopar).

Las fibras se utilizan para disminuir las fisuras por retracción del mortero, ya que al llevar un contenido elevado de arcilla, ésta suele ser importante. De esta manera las

fibras funcionan como una red disminuyendo los cambios de volumen de la tierra. Es aconsejable que éstas se añadan a la mezcla en seco, previa adición de agua, excepto si la mezcla de barro se deja macerar (este paso se conoce como “dormido”, “fermentado” o “podrido”), entonces se añadirán después para evitar que las fibras cambien sus propiedades por contacto con el agua.

Una vez obtenida la mezcla final se introduce en las adoberas, que son los moldes, generalmente de madera, para darle forma. Dependiendo de la estación del año será necesario dejarlos secar por cada cara de 7 a 14 días. Aunque en muchas definiciones se señala que el adobe se seca al sol, no siempre es recomendable: con altas temperaturas el agua puede evaporarse demasiado rápido aumentando así la retracción. Por tanto en estos casos es conveniente dejar secar los adobes protegidos por algún elemento que les proporcione sombra. Una vez secos se almacenan en forma de pila hasta estar seguros de que se ha alcanzado una resistencia adecuada.

Los adobes se ligan con morteros, generalmente de barro, para formar muros. Los espesores de las juntas no deben ser muy gruesos (máximo 10 mm.) principalmente en zonas sísmicas, para conseguir que el conjunto trabaje lo más monolíticamente posible. La mayoría de las veces esos muros necesitan ser revestidos por algún revoco, ya bien de barro, ya bien de cal o de otro material que proteja la superficie.

1.1.2.2_ La tapia

La tapia consiste en tierra amasada y apisonada dentro de un encofrado llamado tapial, para formar muros monolíticos. A diferencia de otros sistemas térreos, en la tapia la propiedad cohesiva de las arcillas se complementa con la compresión mecánica del material.

El barro de la mezcla no pasa por el proceso de “dormido” que se requiere para la realización de adobes, porque el estado plástico que se consigue con este reposo, no es el adecuado para hacer tapias. Se recomienda la utilización de suelos extraídos de su fuente casi al momento de trabajar, para que se conserve en la medida de lo posible su humedad natural. En el caso de requerirse mayores contenidos de agua, se recomienda regar la mezcla con una regadera antes de su vertido en los tapiales. En cualquier caso, se utilizan mezclas con una humedad muy baja, en torno al 10%.

Respecto a la proporción existente de los distintos componentes, ésta debe ser tal que los huecos dejados por los de mayor tamaño sean ocupados por los de tamaño menor.

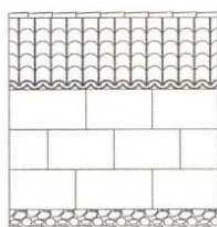
Conviene disponer de un material que posea una granulometría equilibrada, lo que en la caracterización de suelos se traduce en una curva granulométrica continua, así como una adecuada proporción de arcilla y arena si la tapia va a quedar vista. En cualquier caso se trata de mezclas más limosas y menos arcillosas que las empleadas en los adobes.



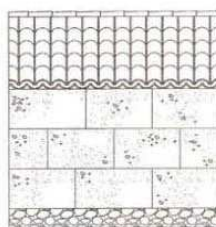
Fig. 15. Ejemplos de tapia con tierra.

Con la compactación lo que se consigue son altas resistencias a compresión. Los muros de tierra se levantan, normalmente, sobre un zócalo de piedra, ladrillo u hormigón para evitar la ascensión de agua por capilaridad. Se recomienda que antes de echar la primera capa de tierra dentro del encofrado, se extienda un poco del mortero utilizado en la realización del zócalo para nivelar su corona y evitar que al comenzar a compactar se salga la tierra entre las juntas. Una vez recibida la tierra dentro del encofrado, ésta se compacta con ayuda de un pisón, en tongadas desde los 7 hasta los 25 cm., dependiendo de la resistencia que se quiera conseguir. Los antiguos pisones eran de madera pero en el mercado actual se encuentran de aire comprimido, hidráulicos...

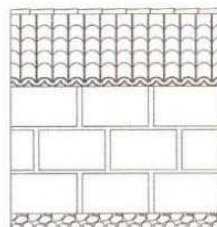
MONOLÍTICAS



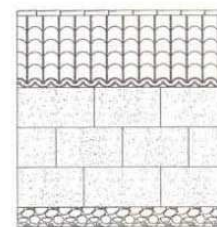
técnica del tapial ordinario



técnica del tapial reforzada en sus caras con mampuesto de piedra (tapia valenciana)



técnica del tapial con juntas reforzadas rectas



técnica del tapial con tierra mejorada

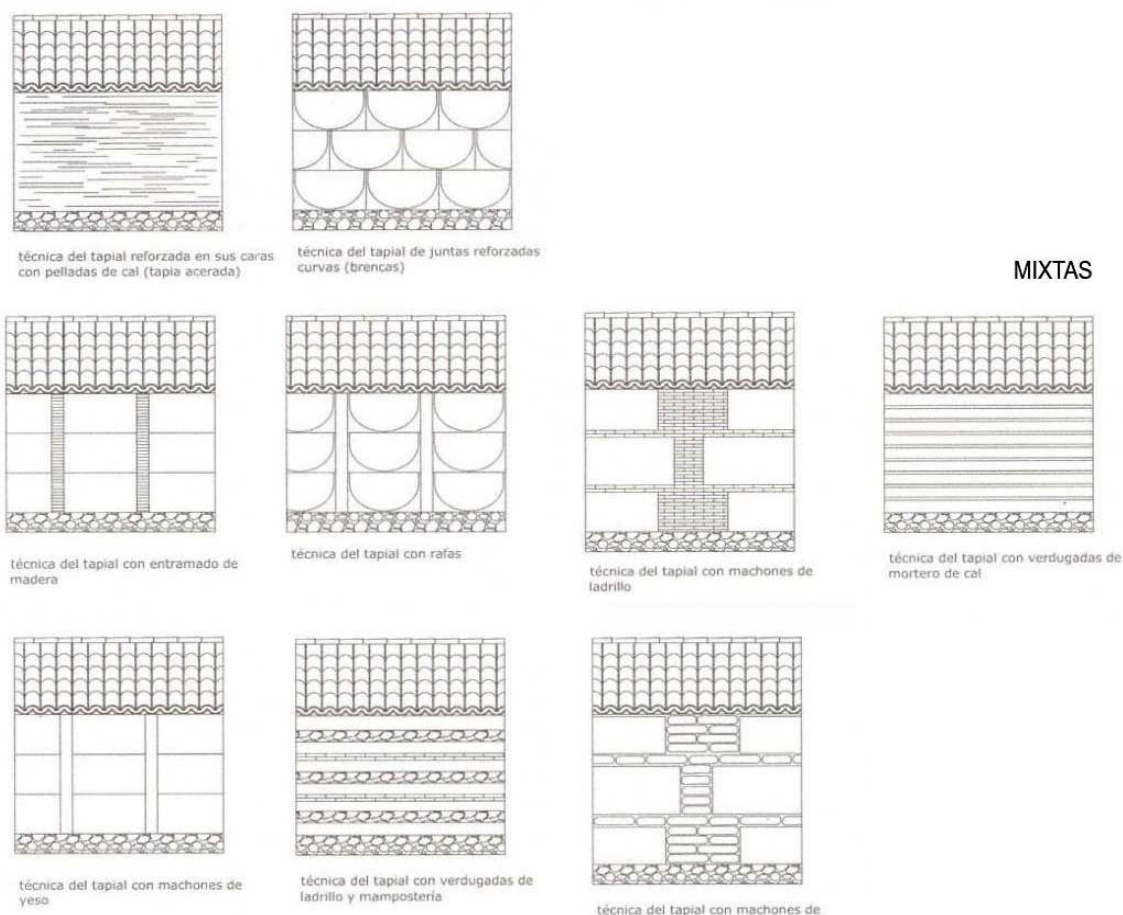


Fig. 16. Tipos de tapia monolítica y mixta.

No suelen llevar fibras como estabilizante, puesto que al contar con un contenido de arcilla y de agua tan bajo, experimentan muy poca retracción. En cambio, si es bastante común el empleo de cal y/o cemento (o de otro tipo de consolidantes), para mejorar su comportamiento frente a la acción del agua.

El espesor de los muros es variable dependiendo del tapial. Se necesita gran cantidad y calidad de mano de obra para realizar este sistema constructivo y los tiempos de ejecución se ven alargados la mayoría de las veces. Como conjunto resulta una estructura muy uniforme y monolítica con importante resistencia a compresión. No siempre es necesario aplicar un revestimiento sobre la superficie, en ocasiones es suficiente la protección de la misma mediante aleros y zócalos.

1.1.2.3_ El cob

El cob es una masa de barro y abundante paja que se apila y se amontona a mano para formar muros monolíticos. La composición del material es muy parecida a la del

adobe pero el modelado se realiza directamente en el muro, sin ser transformado previamente en ladrillos.

La mezcla se compacta en el suelo. Antiguamente se hacía por medio de bueyes, hoy en día suele utilizarse medios mecánicos como las excavadoras. La mezcla tiene que tener una consistencia adecuada para ser modelada directamente en el muro por los trabajadores. Normalmente se protege mediante algún tipo de revestimiento.

1.1.2.4_ El BTC

El bloque de tierra comprimida (BTC) es un paralelepípedo confeccionado mediante una masa de tierra y un estabilizante, como la cal aérea, cal hidráulica, arcilla o cemento, que se moldea y se prensa mecánicamente.

Al contrario que los tres sistemas anteriormente explicados, esta aplicación de la tierra se puede calificar como contemporánea, ya que la primera vez que empezaron a utilizarse los BTC fue alrededor del 1950. Puede decirse que es una evolución del ancestral adobe. Este sistema se descubre en Colombia como resultado de una investigación llevada a cabo en el Centro Iberoamericano de Vivienda (CINVA), y es en ese momento donde nació la prensa CINVA-RAM, en honor a su creador Raúl Ramírez. Actualmente existen prensas mecánicas que mejoran los rendimientos de las manuales.

Tiene un contenido de humedad, una aplicación de dosificación y una presión aplicada en el proceso de ejecución, muy parecida a la de la tapia. Primeramente se mezclan los componentes en seco, se añade también el estabilizante, en un porcentaje que oscila entre el 5% - 8% del peso. A continuación se añade agua y se mezcla hasta conseguir una masa homogénea. Esta masa se mete en un molde para darle forma y a continuación, en la prensa donde se le aplicará una presión determinada, que dependiendo de la máquina, varía desde 0,5 – 2,5 N/mm² en prensas manuales, hasta 4 – 24 N/mm² en las mecánicas. Para alcanzar la resistencia máxima necesita un tiempo de curado.

Los BTC presentan una serie de ventajas respecto de los tradicionales adobes. Algunas de ellas son:

- La utilización de prensas mecánicas conlleva una mejoría de las piezas finales, lo que facilita su colocación en obra desde un punto de vista formal y mecánico.

- Es posible utilizar las tierras obtenidas de la propia excavación debido a la utilización de maquinaria fácilmente transportable.
- El hecho de aplicarle una resistencia a compresión inicial conlleva una unas mayores resistencias finales.
- Al contener un contenido menor de agua, el curado es mucho más rápido que el secado del adobe.

Las medidas son variables pero las más comunes son las de 29 x 14 x 9 cm.



Fig. 17. BTC recién prensados.



Fig. 18. Pared realizada con BTC.

1.1.2.5_ Otros sistemas

El terrón

Es una técnica que se ha venido empleando desde milenios en los cinco continentes, pues el proceso de construcción es muy sencillo. Es la forma más directa de levantar muros de tierra ya que no se necesita ningún procedimiento previo de fabricación, únicamente de extracción, a modo de piedras de cantería. Los utensilios empleados pueden ser los mismos, y los terrones (también denominados tepes o bloques de tierra), se extraen de suelos cohesivos (abundantes en las orillas de los ríos, como el Nilo, tal y como hacían los Egipcios). Una vez retirada la primera capa vegetal, los bloques son extraídos con o sin raíces, de hecho, las raíces ayudan a mejorar la cohesión, y éstas deben de colocarse hacia abajo.

El bahareque o quinchá

Es una técnica muy empleada actualmente en Sudamérica. Consiste en un sistema mixto en el que la mayor parte de los esfuerzos que recibe el muro son absorbidos por un armazón estructural hecho de material vegetal, que le sirve a la tierra como esqueleto.

Normalmente la estructura de madera que se empotra a la cimentación, a un zócalo previo de tapia o adobe, o incluso al suelo directamente, es a la que se fijan travesaños del mismo material pero de menor sección y con separaciones de entre 80 y 120 cm. A continuación se incorpora el tejido de varas, cañas, carrizos u otro tipo de madera. Esta estructura es revestida por ambas caras con barro adicionado con fibras (normalmente vegetales). En ocasiones, el embarrado se protege con una mezcla mucho más líquida de barro y cal para mejorar su comportamiento a la intemperie.

Ya que el contenido de agua del revestimiento es muy elevado, es conveniente buscar sistemas que eviten un secado excesivamente rápido y con ello la retracción.

Sacos de tierra

Esta técnica es relativamente reciente y el encargado de popularizarla fue el arquitecto iraní Nader Khalili. Consiste en rellenar sacos con tierra para posteriormente apilarlos sobre una cimentación previa y formar muros. Es un sistema excepcional cuando se habla de aislamiento e inercia térmica y funciona sorprendentemente bien en caso de sismo.

Actualmente el material más utilizado para los sacos es el polipropileno, por ser el más resistente, pero también existen alternativas más ecológicas como el algodón.

Como relleno de los sacos es recomendable no utilizar arena del desierto, ya que en caso de rotura de los mismos, al ser la arena tan fina, puede perderse bastante material debilitando así la estructura. En cuanto al material de relleno de los sacos hay muchas variedades. Lo más razonable es utilizar tierras procedentes de la propia excavación. Cuanto más fino sea el grano menos huecos existirán, esto se traduce en menos aire interior y mayor masa térmica.

1.1.3_ PATOLOGÍA PRESENTADA EN LAS CONSTRUCCIONES CON TIERRA

Los muros con tierra, principalmente los de adobe y los de tapia, son muy abundantes dentro del patrimonio de la península ibérica. Sin embargo la recuperación de estas técnicas para ser aplicadas dentro de los proyectos de rehabilitación, se hace la mayor parte de las veces complicada. Por un lado se encuentra el factor económico y por otro la falta de conocimiento de esas mismas técnicas.

Aun con esto, en España se ha asistido a varias intervenciones en edificios de carácter monumental (en mayor número): castillos, recintos amurallados... pero es en el tipo de

arquitectura conocida como popular, donde se presentan mayores degradaciones de construcciones con tierra, ocasionado muchas veces por el escaso o nulo mantenimiento.

La patología en todas las construcciones, y más en concreto en las de tierra que son las que se estudian en este caso, hace referencia al origen del proceso patológico que ha originado una alteración y por tanto una pérdida de las propiedades del material, y éste no es siempre visible. En cambio los síntomas o lesiones, son la manifestación visible de que un proceso patológico se está desarrollando en el material.

Un correcto análisis del fenómeno patológico conlleva en primer lugar, una identificación de los agentes patógenos, tanto internos (asociados al mismo material) como externos (agentes ajenos al material), (M.A. Rodríguez; I. Monteagudo; B. Saroza; P. Nolasco; Y. Castro).

- Factores intrínsecos: Únicamente en la mecánica de suelos se pueden encontrar referencias particulares acerca del comportamiento de la tierra ante los agentes ambientales. Por ello, para estudiar la respuesta de las construcciones con tierra a lo largo del tiempo hay que acudir a la geotecnia, comprendiendo así, los fenómenos causantes de las alteraciones y deterioros visibles. Son de gran importancia factores como el origen, la composición, la textura...Por tanto, a la hora de estudiar el comportamiento del material en una construcción existente, deben investigarse las características de la tierra, así como el uso que se le ha dado a esa construcción y el procedimiento constructivo empleado.
- Factores extrínsecos: Dentro de este conjunto de factores se engloban los agentes ambientales, los biológicos, los mecánicos y los antrópicos.
 - Agentes ambientales, por su acción degradadora de la fábrica térrea: agua, aire, temperatura, presencia de sales, contaminación atmosférica, fenómenos naturales.
 - Agentes biológicos, engloba la biodegradación producida por insectos (abejas y termitas), animales (aves, roedores y domésticos) y plantas.
 - Las alteraciones estructurales que tienen su origen en factores mecánicos, pueden resumirse en cinco categorías: defectos del material, roturas mecánicas accidentales, mala concepción y diseño de las soluciones estructurales y constructivas y, por último, problemas y errores de ejecución en obra.

- En factores antrópicos, pueden agruparse tres categorías: diseño y planificación, producción y construcción, así como uso y explotación.

La experiencia adquirida en el tema, revela que las fábricas y revestimientos con tierra, que son bastante vulnerables al intemperismo y a la acción del agua, presentan patologías asociadas a estos dos factores principalmente.

En la Fig. 19. se muestran las causas y lesiones que pueden aparecer cuando los soportes de tierra se ven sometidos a la acción del agua o a alteraciones de tipo mecánico.

ALTERACIONES CAUSADAS POR EL AGUA	
CAUSAS	LESIONES
Ascensión de agua por capilaridad	Disgregación del revestimiento Desprendimiento del revestimiento Grietas horizontales, verticales e inclinadas Oquedades Manchas de humedad: moho Manchas de humedad: eflorescencias
Deterioro de la base del muro	Fisuras radiales Grietas horizontales Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro
Retracción por cambios de humedad y temperatura	Grietas horizontales, verticales e inclinadas Fisuras radiales y longitudinales
Degradación en aberturas	Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro Grietas inclinadas Flecha en el dintel del vano Rotura y pérdida de las piezas de apoyo de la ventana o vano
Deterioro de la parte superior del muro por cambios de humedad y temperatura	Disgregación del revestimiento Desprendimiento del revestimiento Grietas horizontales, verticales e inclinadas Fisuras radiales y longitudinales Manchas de humedad: moho Manchas de humedad: eflorescencias
Humedades por condensación en la parte superior del muro	Disgregación del revestimiento Desprendimiento del revestimiento y soporte del

	muro Manchas de humedad: moho Manchas de humedad: eflorescencias
Filtraciones en apoyo estructural	Disgregación del revestimiento Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro Pudrición o deterioro del sistema de vigas y losas Manchas de humedad radiales y con diferente color
Penetración de agua por canalizaciones de techo	Desprendimiento del revestimiento, soporte del muro, impermeabilización y materiales de aleros Grietas en el muro Oquedades en muros y aleros
Petos mal protegidos	Manchas de humedad por ambas caras del muro Escorrentías blancas y negras por lavado y ensuciado del muro Disgregación del revestimiento Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro
Filtraciones por cubierta	Manchas de humedad en techos y muros Desprendimiento del revestimiento Grietas horizontales, verticales e inclinadas Fisuras radiales y longitudinales

ALTERACIONES DE CARÁCTER MECÁNICO	
CAUSAS	LESIONES
Fallo por asiento de cimentación y muros	Grietas inclinadas Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro
Deterioro de la base del muro por presencia de plagas, plantas...	Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro Grietas horizontales, verticales e inclinadas Fisuras radiales y longitudinales Acanaladuras y oquedades en el muro
Deterioro por ejecución incorrecta del soporte y del revestimiento	Grietas horizontales en juntas verticales Alabeos Desprendimiento del revestimiento
Fallos en las aberturas	Grietas verticales Grietas horizontales

	Grietas inclinadas
	Desplazamiento de las piezas
	Flechas en vigas perimetrales
Fallo de ejecución en la parte superior del vano	Fisuras lineales y/o radiales
	Grietas horizontales
	Abombamiento por compresión axial excéntrica
Insuficiente apoyo en vigas	Grietas inclinadas en la fogonadura de la viga
	Desprendimiento del revestimiento y/o soporte del muro
Soluciones deficientes de evacuación de aguas sobre muros y techos	Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro
	Rotura de las piezas del soporte

Fig. 19. Tablas con las patologías más frecuentes causadas por la acción del agua y por alteraciones de carácter mecánico. Realizadas a partir de conclusiones extraídas de varios estudios. (Rodríguez, M.A.; Monteagudo, I.; Saroza, B.; Nolasco, P.; Castro, Y.)

1.2_ REVESTIMIENTOS SOBRE SOPORTES DE TIERRA

La reciente demanda de construcciones con tierra ha hecho necesario un nuevo estudio de elementos y materiales protectores de las mismas que garanticen su mantenimiento en un periodo de tiempo determinado.

Las tradicionales protecciones de muros de tierra frente a las inclemencias meteorológicas pasan básicamente por la colocación de grandes aleros, cornisas o remates de coronación que las proteja de las intensas lluvias y de la erosión provocada por las mismas; zócalos de materiales más resistentes y menos permeables que eviten la absorción del agua por capilaridad, y la protección superficial del paramento mediante algún tipo de revestimiento continuo como el mortero, pinturas o impregnaciones superficiales.

Por lo general ha sido necesario revestir los muros la mayoría de las veces, excepto en arquitecturas de tipo militar o monumental, dónde los espesores de los mismos oscilaban entre los 90 cm. y los 2 m., por lo que no siempre se consideraba imprescindible.

En la actualidad es posible encontrarse muros de tierra sin revestir siempre que las condiciones climatológicas lo permitan. En el caso de la tapia y el BTC al tener una capacidad de absorción de agua menor que la del adobe o el cob, no siempre se hace necesario revestirlos exteriormente, si bien es recomendable protegerlos con alguno

de los elementos descritos anteriormente. Para muros sin revestir de una hoja se recomiendan espesores superiores a 40 cm. que garanticen así su comportamiento higrotérmico.



Fig. 20. Revestimiento desprendido del soporte.



Fig. 21. Muro de tierra erosionado por falta de revestimiento.

2.1.1_ CONCEPTO DE REVESTIMIENTO

Por revestimiento se entiende cualquier tratamiento o elemento aplicado durante o después de la construcción del muro con la finalidad de mejorar alguna de sus propiedades o con la intención de aportar un determinado aspecto a la superficie del paramento.

El revestimiento por el exterior protege al edificio de las agresiones externas como el viento, la lluvia, la radiación solar... A estas agresiones naturales hay que añadirle las artificiales tales como la contaminación atmosférica y la lluvia ácida. La elección de los materiales debe de hacerse en función del uso que se espere del revestimiento que se pretende realizar, pero en la mayoría de los casos hay que tener en cuenta las siguientes propiedades:

- Dureza: Resistencia al impacto o desgaste por abrasión.
- Resistencia a los agentes ambientales.
- Resistencia a los productos químicos.
- Impermeabilización al agua y/o al vapor de agua.
- Aislamiento térmico y/o acústico.
- Facilidad de limpieza.
- Facilidad de mantenimiento y reparación.

En primera instancia se debe asegurar que el revestimiento cumpla con su finalidad, y en todos los casos, que dicho revestimiento sea compatible y no perjudique ninguna otra característica del muro.

Los revestimientos en la superficie del muro contribuyen al cumplimiento de: por un lado mejorar la durabilidad del muro manteniendo sus características y por otro garantizar su comportamiento higrotérmico.

2.1.2_ PROTECCIÓN TRADICIONAL DE MUROS

2.1.2.1_ Consolidación de la superficie

Una de las soluciones más eficaces y sencillas para conseguir una mayor resistencia a la erosión producida por el viento y la lluvia en la superficie del muro, consiste en frotarla ejerciendo presión, cuando la tierra está todavía húmeda y conserva un grado de plasticidad aceptable. Con la ayuda de una llana o paleta metálica se consigue entaponar poros y fisuras además de regularizar la superficie.

Es una solución muy recomendada en los casos de ejecución de los muros in situ, ya que si bien no modifica las propiedades del material, sí que se produce un incremento notable a la resistencia por erosión.

2.1.2.2_ Pinturas y lechadas de cal

Otro de los procedimientos que ha creado una visión de arquitectura típica, más característica desde la meseta central al sur, es la protección de los muros de tierra mediante encalados, muy comunes en la arquitectura popular. En ocasiones son aplicados sobre una primera base de mortero de tierra o igualmente de cal. Sin embargo, a veces las lechadas de cal son aplicadas directamente sobre el paramento sin regularizar.

Consistió en una solución muy recurrida a partir de la primera mitad del siglo XIX y se extendió por el territorio español a partir de las medidas higienistas de la época. Sin embargo, este tipo de soluciones como muchas otras sobre soportes de tierra, no presenta una gran resistencia frente a la erosión producida por las lluvias, por lo que era habitual, que en aquellos muros donde el mantenimiento era escaso, los encalados dieran paso a una mezcla entre cal, tierra y agua que mimetizaban las viviendas dentro del paisaje urbano (F.J. Castilla Pascual).

Las pinturas para exteriores deben ser impermeables al agua pero a la vez permeables a la difusión del vapor de agua, gracias a una red continua de microcapilares que permita la salida del vapor de agua hacia el exterior (especialmente

en climas fríos). Para tal fin, las combinaciones más habituales son las de cal, cal-bórax y cal-caseína.

En cambio, en revestimientos interiores, dónde las exigencias son mucho menos estrictas, se emplean con mucha asiduidad, ya que proporcionan mayor luminosidad que otros en el interior de las estancias.

2.1.2.3_ Calicastrado

El calicastrado o calicostrado, “costra de sal”, es un procedimiento de protección de muros muy característico de la península ibérica. Predomina en construcciones militares de la época almohade, en la religiosa, y en la civil de la submeseta sur.

Esta técnica consiste en proporcionar el revestimiento durante el mismo proceso de apisonado del tapial, obteniendo de esta forma una tapia reforzada o acerada en sus caras, dónde estos materiales de refuerzo se disponen junto a las caras del tapial, antes del apisonado de cada tongada, quedando así íntimamente ligado el revoco a la masa del muro. Este careado, hecho generalmente con una mezcla de cal y arena, recibe el nombre de “malhecho”, y una vez endurecido se le denomina “costra”, y al muro, “tapia con costra” o “caliscostrada”.

La mezcla, con una dosificación de una parte de cal por tres de arena, la mayor parte de las veces, se pone en el mismo estado de humedad que la tierra, esta mezcla se coloca a lo largo de los tableros de encofrar y pegada a ellos (F.J. Castilla Pascual).

Se tiene referencia escrita de la existencia de calicastrados desde hace muchos siglos, sin embargo, desde mediados del siglo XX, esta técnica deja de ser tan popular como antiguamente dejando lugar a otro tipo de revestimientos como bien pueden ser los morteros de barro o las lechadas de cal.



Fig. 22. Ejemplo de tapia calicastrada.

2.1.2.4_ Entablados

No es tan común la aparición de elementos de protección de muros de tierra mediante piezas de otro material, debido a la dificultad de estos para soportar esfuerzos a cortante. Las piezas se reciben directamente mediante algún tipo de mortero o a través de una estructura auxiliar colgada al muro (generalmente suele ser de madera).

Es más habitual encontrar esta solución en muros de entramado y relleno de tierra (sistemas mixtos), dónde los elementos estructurales, suelen servir de sujeción al revestimiento exterior, generalmente de tablas (ripias, chillas, latas...). Es un tipo de revestimiento que se encuentra más fácilmente en la montaña palentina y leonesa, y en algunas comarcas de Cáceres y Salamanca (F.J. Castilla Pascual).

2.1.2.5_ Revocos

Por revocos se entienden aquellos revestimientos continuos conformados a partir de una pasta o mortero con consistencia plástica, aplicados con la mano, paleta, llana o proyectados.

Una de las exigencias al revestimiento es una correcta adherencia al soporte, y esto se consigue por una similitud de rigideces. Cabe pensar entonces, que para muros de tierra, los revestimientos que presentan mayor compatibilidad son los elaborados con base de barro.

La solución más inmediata por tanto, es la utilización de embarrados o trullados. Los morteros de barro son aquellos que están formados por tierra con contenido variable de arena, limo y una cantidad adecuada de arcilla necesaria para proporcionar adherencia al soporte y cohesión entre los granos de arena, de modo que al amasarla con agua no se produce ningún tipo de reacción conglomerante sino aglomerante.

Es un tipo de revestimiento muy adecuado siempre que se eviten las fisuras por retracción, para lo cual es necesaria la adición fibras vegetales o animales (como las que se estudian en el presente trabajo). En revestimientos interiores, más finos, basta con que se añada serrín, celulosa o corteza de cereales. El mejor embarrado es el compuesto por tierra, cáscara de arroz, orina y excrementos (Bedaux, R).

Constituyen, muchas de las veces, una base para otro tipo de revoco final o para un encalado y enlucido con yeso como acabados más duraderos. Es un proceso muy utilizado en zonas con bajos recursos económicos, sin embargo la permanente

exigencia de renovación, prácticamente anual, genera un mayor interés en la consecución de una mayor durabilidad y ciclos de mantenimiento más prolongados, mediante la incorporación de algún otro tipo de estabilizante.

El manual de conservación de viviendas de adobe ININVI (1992) describe el terrajeo del siguiente modo:

- *El terrajeo de barro mejora el acabado de las paredes y las protege contra las lluvias. Es posible mezclar la tierra con goma de tuna y así lograr que sea mucho más resistente al agua.*
- *Se recomienda la utilización de paja para evitar el terrajeo se raje (las proporciones indicadas son 6:3:2, tierra – goma – paja, pero sin aclarar dimensiones).*
- *Es recomendable terrajear en dos capas, una primera capa de aproximadamente 1,5 cm. de espesor y una segunda capa lo más delgada posible.*



Fig. 23. Revocos de barro.

Es más frecuente encontrar revocos a base de conglomerantes tradicionales como puede ser el cemento. Sin embargo, no son totalmente recomendables para su aplicación sobre muros de tierra dada su excesiva rigidez. Además la característica impermeabilidad del revestimiento, no permite el secado de los muros cuando estos se humedecen por las filtraciones de agua que tienen lugar a través de las fisuras del mismo revoco.

No obstante, durante mucho tiempo, se ha defendido el empleo masivo de revocos y pinturas de cemento, solventándose los problemas de adherencia al soporte mediante la incorporación de mallas de alambre (simple torsión o gallinero), clavadas sobre el muro previa aplicación del mortero. Y aunque es una solución muy empleada hoy en día, sólo se aconseja su aplicación (y tampoco es recomendado) cuando el muro ha secado totalmente después de la construcción, aunque ya se ha visto los problemas que presenta en el caso de filtraciones de agua a través de las fisuras.

Mucho más aceptados son los revocos de cal. Los morteros se confeccionan generalmente con una parte de cal por cada tres o cuatro de arena, y es una dosificación utilizada mundialmente. Tradicionalmente se venía empleando la adición de pelos de animal y caseína (al igual que en las pinturas), para disminuir tanto la fisuración por retracción como la absorción de agua, al mismo tiempo que para aumentar la difusividad del vapor de agua.

Antiguamente, para mejorar la adherencia soporte-revestimiento, se acudía a distintas alternativas como el picoteo de la fábrica, humectación del soporte hasta que éste esté lo suficientemente blando para realizar incisiones formando dibujos de líneas entrecruzadas o insertando elementos de agarre como cascotes y clavos. También es habitual encontrar en algunas zonas la introducción de ladrillos huecos adosados al tapial alternativamente, haciendo de llave de unión, permitiendo cierta penetración del mortero.

De cualquier forma, la mejor manera de garantizar un buen comportamiento del revoco es aplicarlo preferiblemente en varias capas (dos mínimo) con un espesor no superior a los 20 mm. Esto a veces resulta complicado sobre todo en soportes con falta de planeidad y rugosidad importante, dónde se encuentran morteros de incluso 50 mm. de espesor.

2.1.3_ INNOVACIÓN EN LA MEJORA DE PROTECCIÓN DE MUROS

Estabilización de morteros con resinas sintéticas

Las resinas sintéticas son grandes cadenas de polímeros derivados de una amplia gama de monómeros. Las más corrientes para su utilización son las de acetato de polivinilo, acrílicos y polisocianatos, en soluciones de disolventes orgánicos o en emulsiones acuosas, u obteniendo la polimerización in situ mediante catalizadores o por reacción con la humedad ambiental.

Para impregnación superficial se hace más adecuadas las soluciones y para adhesivos por inyección, las emulsiones.

Las resinas sintéticas funcionan como consolidante, penetrando en los poros y recubriendo las partículas sin reacción química entre el polímero y las partículas de tierra. En algunos casos se produce la formación de una película que si se convierte en barrera de vapor puede crear tensiones por la acumulación de agua bajo su

superficie. Suelen tener buen comportamiento mecánico y en algunos casos son reversibles (F.J. Castilla Pascual).

Las de tipo acrílico (como la Rophlex – 330) ya fueron estudiadas en los años 70 por Fenn, quien recomendaba unas proporciones del 13% (contenido en sólidos o 1:2,5 vol. de agua) para suelos con 70% de arena, 10% limo y 20% de arcilla.

Estabilización mediante estabilizantes naturales

Uno de ellos es la goma de tuna, cuya preparación se describe por la Universidad Pontificia de Lima, (ININVI 1992) de la siguiente manera:

Sacar las espinas de las “pencas”.

Cortar las pencas en rebanadas.

Poner a remojar en agua las rebanadas de las pencas, agregar la cantidad de agua necesaria para cubrirlas al ras en el recipiente. Las pencas se deben remojar durante varios días (una semana por lo menos), hasta que la pulpa se disuelva y se obtenga una goma de color verde con fuerte olor a podrido. Después de varios días en remojo se eliminan las cáscaras.

El mucílago se obtiene de la siguiente manera:

Se colocan 350 g. de la hoja cortada en 0,5 l. de agua durante 24 h. El resultado se diluye al 5 o 10% en agua para su aplicación y para garantizar su penetración (estimada en una media de 3 cm.). Su tiempo de aplicación es escaso, 48 horas desde el remojo inicial.

El comportamiento de los paramentos impregnados con mucílagos es aceptable, aunque la resistencia a la erosión por acción de la lluvia no es demasiado elevada. Aún así, en lugares como México se ha utilizado con mucha asiduidad.

En la India también se ha utilizado otro tipo de estabilizantes como jugos de plantas, residuos de cocción de jugo de caña de azúcar y semillas hervidas en agua. El resultado general fue que se da un aumento de los límites líquido y plástico, no afecta a la retracción y aumenta la resistencia al agua (F.J. Castilla Pascual).

Impregnaciones superficiales

Beas (TERRA 93) estudió el efecto de varios consolidantes aplicados sobre cinco tipos de revestimiento sobre soporte de tierra: tierra, cal, yeso, cal/tierra, cal/yaso. Los consolidantes estudiados fueron:

- Mucílago de tuna (cactus de la familia *Opuntia Ficus Indica*): encontrado en zona desértica y muy usado en Sudamérica como consolidante y/o aditivo. Consigue una reducción de la aparición de bacterias.
- Acryloid B-67 (Rohm & Hass): resina/emulsión acrílica de metacrilato de Isobutilo. Se aplica diluido en dietilo de benceno (al 5%) para permitir una completa impregnación. (Aunque se conocían algunas desventajas: poca penetración y cambios de color y brillo en la superficie del revestimiento).
- Conservare OH – Stone strengthener (Pro-SoCo): silicato de etilo y metiletilcetona y acetona. Indicando que no es un producto hidrófugo.

De las combinaciones realizadas entre los cinco revestimientos mencionados y los consolidantes aplicados a los mismos, el sistema soporte-revestimiento que demostró mayor compatibilidad fue el de revoco de tierra y el peor el de cal/ yeso.

Los ensayos se realizaron aplicando revestimientos de unos 3 mm. de espesor sobre probetas construidas con material procedente de adobes antiguos y estos fueron: abrasión por chorro abrasivo; adhesión mediante probetas en forma de ocho; absorción por capilaridad colocando tubos graduados; resistencia al agua mediante goteo durante dos horas y transmisión de vapor.

En la mayoría de los casos el tratamiento mejoró el comportamiento de los revocos y el mucílago fue el que lo hizo en menor grado. En los revestimientos tradicionales de tierra, *B-67* produjo una reducción intensa de absorción, pero también produjo fisuración; *Conservare OH* (silicato de etilo), fue el que más disminuyó la difusividad.

El silicato de etilo es un compuesto en parte orgánico, pero que después del curado se convierte en inorgánico. El producto reacciona generando fuertes enlaces químicos entre las partículas de arcilla, evitando la separación de las láminas de arcilla en presencia de agua. Se produce un aumento de la resistencia a la erosión del agua, sin ser hidrófugo y permitiendo el paso del vapor por microporos. Los inconvenientes son que su aplicación es irreversible y que no funciona bien sobre superficies húmedas.

Cuando se trata de garantizar una resistencia superficial y evitar exclusivamente el desprendimiento de partículas ocasionado por la erosión mecánica (producida por el uso cotidiano de los espacios habitables) en paramentos interiores, la gama de compuestos es más amplia. El silicato potásico es uno de los elementos más utilizados. Los productos naturales comercializables (caseína, linaza, etc.) son también

habituales, primando para su utilización los criterios de repercusión medioambiental frente a otros compuestos.

Estos productos son también utilizados con frecuencia como estabilizantes de lechadas y pinturas.

Lechadas estabilizadas

Como aplicaciones en forma de lechada se refiere a los látex sintéticos, como dispersiones o emulsiones de polímeros en agua y se encuentran diversas investigaciones entre los años 70 y 80, donde se han utilizado como adhesivos para morteros, enumerando las siguientes características:

- Penetran lentamente (como tratamientos superficiales).
- Oscurecen la superficie.
- En capas gruesas pueden producir un aspecto indeseable.
- Son fáciles de utilizar y limpiar.
- Poseen buena resistencia mecánica y buen comportamiento frente a la erosión.

En el estudio se plantea la utilización de lechadas de 1 a 3 mm. de espesor. La cantidad de agua sería un 17 – 20% en peso de la tierra y la del estabilizante entre el 1 y el 1,5%. Para la preparación del soporte se propone la aplicación superficial de otra solución (Acryloid F-10), concluyendo los resultados de ensayo de forma satisfactoria (Ferm, L.).

Además de los productos mencionados, la utilización de otros compuestos como sebo o grasa animal, orina, clara de huevo, engrudos (de harina de centeno) y jugos o aceites vegetales (principalmente agave, cactus, palma, kapok) aparecen continuamente citados en las fuentes de cultura popular siendo aplicados localmente en numerosas experiencias de autoconstrucción y/o vivienda de bajo coste.

1.3_ SITUACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA EN EL MUNDO

Como se ha comentado, es incalculable el valor del patrimonio arquitectónico en tierra que pervive en la actual, además, todavía hoy en día un tercio de la población mundial habita en viviendas construidas con tierra. Parece lógico llegar a la conclusión de que la tierra como material de construcción se encuentra entre uno de los mejor considerados. Sin embargo y probablemente debido entre otros factores a la pérdida

de los conocimientos populares sobre este material, la tierra cayó en desuso y es recientemente cuando gracias a una ardua labor de asociaciones y grupos de investigadores, que se están revitalizando tanto las rehabilitaciones de complejos con este material como las construcciones de nuevos edificios.

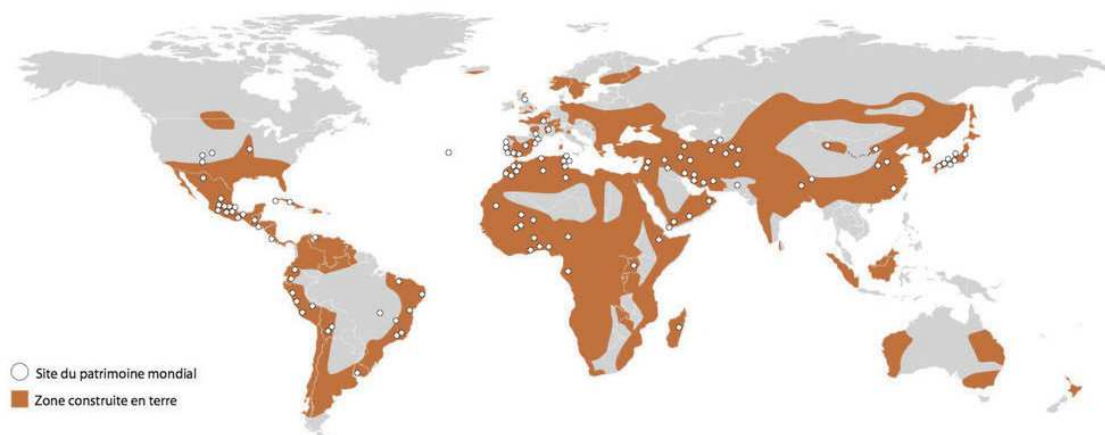


Fig. 24. Mapa de construcción con tierra en el mundo.

La falta de competitividad de la tierra en el mercado actual viene dada también por la escasa y dispar normativa que existe sobre sus aplicaciones, usos y restricciones. No hay acuerdo entre los distintos países e incluso entre normativas se llega a incongruencias, lo que en muchos casos lleva a la confusión y por consecuencia a la desconfianza, situación que sin duda debe de mejorarse.

A pesar de los presentes inconvenientes como la escasa normativa que ya se ha citado, las limitaciones propias de la tierra etc., las ventajas que ésta presenta (localización en toda la superficie terrestre, casi gratuidad, bajo impacto medioambiental...), pueden más y hay muchos sectores de la población interesados en extender de forma masiva su empleo en construcción. Es por esto que en muchos proyectos de edificios contemporáneos de carácter público e incluso privado (principalmente viviendas unifamiliares), se optado por la tierra como material principal. Ello ha provocado que se estén experimentando importantes innovaciones como la industrialización de algunos sistemas constructivos, la incorporación de productos que mejoran su durabilidad... poniéndola a la altura de sus grandes competidores.

La arquitectura en tierra ha jugado y sigue jugando un papel clave en la definición de la identidad de las culturas locales, del desarrollo humano a través de materiales autóctonos y de la expresión artística más básica. La UNESCO, ha catalogado como bienes Patrimonio de la Humanidad 150 propiedades construidas con tierra, que van desde simples casas de carácter rural hasta las más grandes manifestaciones de fe,

como templos y otro tipo de complejos religiosos, pasando por ciudades enteras, yacimientos arqueológicos, conjuntos históricos...

Por lo general, los sitios más representativos del patrimonio arquitectónico en tierra se corresponden con: conjuntos históricos (47%); yacimientos arqueológicos (43%) y asentamientos urbanos (42%). También tienen bastante peso los edificios históricos (37%); las propiedades religiosas (35%), la arquitectura vernácula (27%) y los paisajes culturales (21%). Este porcentaje, varía sin embargo de unas regiones a otras:

- En Latinoamérica y en el Caribe, cobran gran fuerza las propiedades históricas (70%) y los asentamientos urbanos (50%).
- En los Emiratos Árabes, predominan los asentamientos urbanos (70%) frente a propiedades históricas y yacimientos arqueológicos (40%) y los edificios religiosos (30%).
- En Asia y el Pacífico, hay más rastro de yacimientos arqueológicos (76%), importantes propiedades religiosas (58%) y edificios históricos (52%).
- En Europa y Norteamérica la clasificación es menos compleja con menos tipos de propiedades en cada zona. Así por ejemplo abundan más los asentamientos rurales (38%), seguidos de propiedades históricas y centros urbanos (35%) y por último los yacimientos arqueológicos (30%).
- En África, al contrario de lo que ocurre en otras regiones, el paisaje cultural cobra gran protagonismo (57%), con resultados similares en arquitectura vernácula y edificios históricos. Los conjuntos históricos están representados en un 50%, seguidos de las propiedades religiosas y los yacimientos arqueológicos (43% en cada caso).

Dentro de los sistemas empleados en los bienes listados, el más extendido es el adobe (50%), principalmente en Asia y el Pacífico (68%); en Latinoamérica y en el Caribe (60%). En Europa y Norteamérica el porcentaje que representa a las construcciones con adobe es mucho menor (17%).

El cob (únicamente en un 6%) está presente en tres de las cinco regiones clasificadas, con un fuerte peso en África (20%). Por el contrario, la tapia está prácticamente ausente en este continente.

Este tipo de distribución de los sistemas con tierra, da una idea sobre cómo se adapta este material a las diferentes técnicas y a las restricciones sociales, culturales y medioambientales de cada zona.

En general, las prioridades de acción para conservar el patrimonio construido pasan por una correcta documentación de las propiedades existentes y establecer un marco legal que las ampare y refuerce las capacidades para su correcta gestión.

En la Fig. 25. se muestra a modo de resumen, algunos de los parámetros más significativos que reflejan la realidad del legado patrimonial en tierra existente.

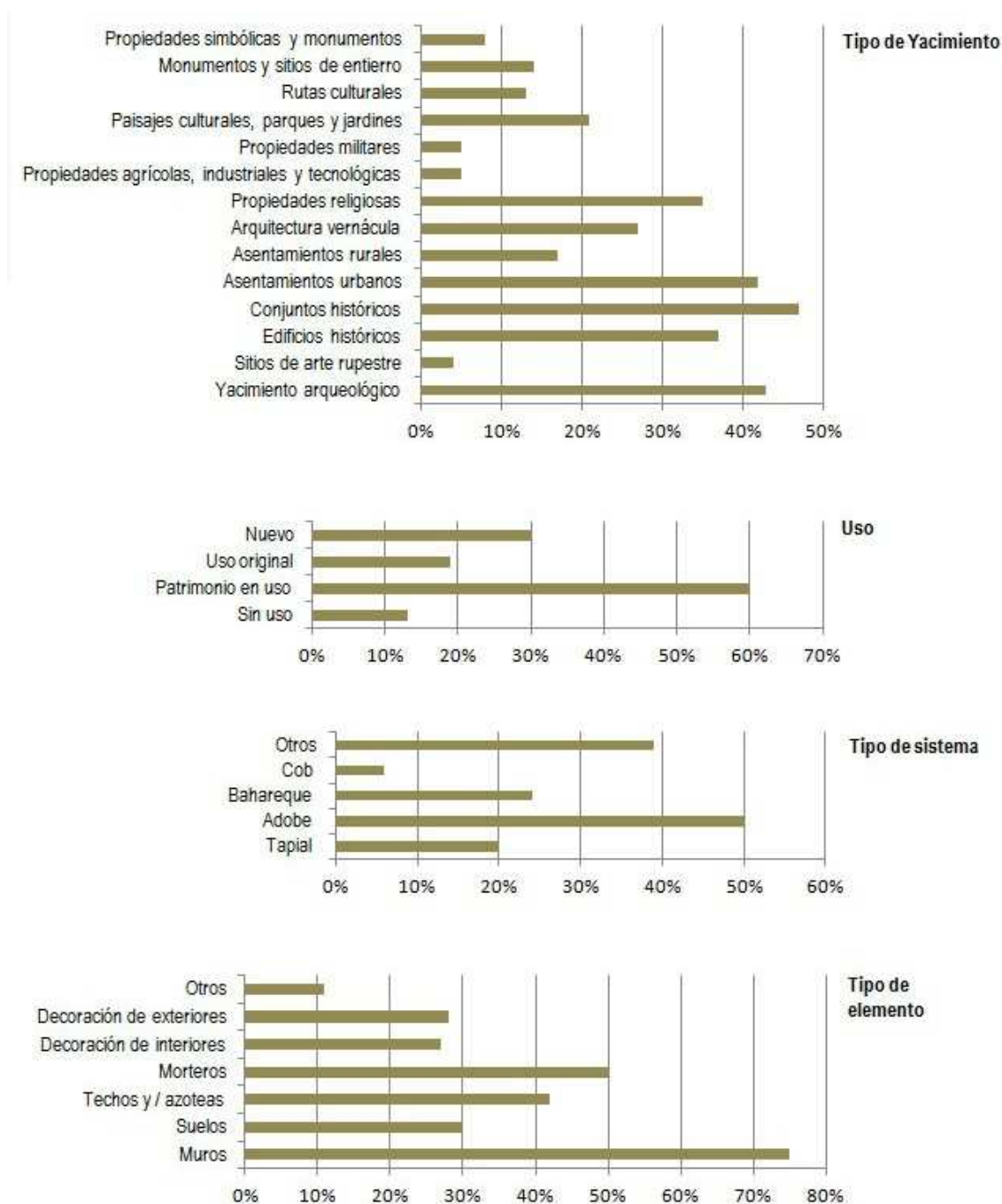




Fig. 25. Gráficas sobre la situación actual de la tierra en el mundo. Realizadas a partir del inventario 2012 de arquitectura con tierra de la UNESCO.

1.4_ SITUACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA EN ESPAÑA

Ya se ha expresado con anterioridad en este trabajo, que el tipo de construcción predominante en Europa, y también en España, al contrario de lo que ocurre en otras regiones, son los asentamientos rurales. A este tipo de patrimonio, por desgracia, se le ha venido prestando demasiada poca atención.

En estos tiempos, la arquitectura popular se encuentra legislada por las instituciones públicas, pero hasta hace bien poco, este patrimonio carecía totalmente de interés general. Este tipo de arquitectura no estaba considerada como bien a mantener y menos a restaurar, por lo que los vestigios existentes no se encuentran, en muchas ocasiones, en el mejor estado de conservación. Afortunadamente, no todos los restos históricos y religiosos de construcciones con tierra están corriendo la misma suerte, y esto se debe en parte a las distintas legislaciones europeas que se han ido haciendo eco de las recomendaciones incluidas en las distintas cartas y documentos de carácter internacional: *Carta de Atenas* (1931); *Carta de Venecia* (1964); *Carta de París* (1972); *Carta de Ámsterdam* (1975); *Carta de Toledo* (1985); *Carta de México* (1999) y *Carta de Cracovia* (2000), (L. Maldonado, F. Vela-Cossio).

Desde hace unos veinte años y hasta la fecha, se ha venido multiplicando el número de experiencias en rehabilitación de distinguidos conjuntos arquitectónicos, algunos de los anteriormente citados ya han sido intervenidos, como la Alhambra, de la que se han publicado interesantes estudios al respecto. Otras de las notorias intervenciones son: el Castillo de Toral de los Guzmanes, en León; la torre del castillo de Bétera, en Valencia o los estudios previos del Alcázar de Guadalajara.

A pesar de estas cuidadas actuaciones, con mayor o menor acierto, la cantidad de intervenciones y restauraciones actuales en muchas de las construcciones tradicionales, impulsadas entre otras medidas por las subvenciones (tanto nacionales como de cada comunidad autónoma), el turismo o las segundas residencias, se ha convertido en uno de los más graves casos de deterioro del patrimonio arquitectónico de nuestro país.

Volviendo a la arquitectura de carácter rural, ésta presenta tintes diferentes por ejemplo, de la monumental o la histórica, lo que conlleva distintos patrones de conservación y actuación. En el caso de la arquitectura tradicional, priman funciones como la habitabilidad, el uso de materiales locales, la simplicidad en las soluciones, el equilibrio con el entorno... frente a las predominantes estéticas más propias de la religiosa. Esto significa que una intervención modernizadora o con reglas distintas de las que actualmente priman en una arquitectura que desempeña este rol, cambia por completo la esencia de la construcción e incluso del asentamiento al completo.

En cuanto a la nueva construcción con tierra, si bien es cierto que España se encuentra unos peldaños detrás de países como Alemania o Francia, un importante número de edificaciones, principalmente del sector privado, están retomando la tierra como material de construcción. Tales ejemplos son: una bodega en Lanciego, en Álava; la piscina cubierta climatizada municipal de Toro, en Zamora; y otras tantas viviendas unifamiliares como la de Fontanilles, Rupià o Llavià.

Respecto a la normativa, en España sólo una norma hace referencia a la construcción con tierra, la UNE 41410:2008, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Mientras, AENOR está elaborando las próximas normas UNE para la tapia y el adobe. En cuanto al CTE, decir que a través del Ministerio de la Vivienda y el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, se está realizando un documento guía para el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación en los edificios de tierra, ya que por el momento no se recoge información alguna sobre ellos dentro del mismo.

2_ Justificación y objetivos

2.1_ JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El saber popular corroborado por el científico, ha demostrado que la construcción con tierra, en contra de lo que los prejuicios por falta de conocimiento manifiestan, es un tipo de arquitectura que está totalmente capacitada para satisfacer las necesidades de habitación en todas las partes del mundo y a todos los niveles sociales.

Como se ha expuesto anteriormente, son muchos los conjuntos arquitectónicos de tierra, que incluso con milenios de antigüedad, coexisten actualmente con las más modernas edificaciones. Sin embargo, y aunque las técnicas más contemporáneas de construcción se extiendan sin fronteras por toda la superficie edificable, no deben extrapolarse como vía universal para el tratamiento de una arquitectura con diferente esencia y quizás, con un carácter más delicado.

La compatibilidad entre diferentes elementos constructivos está basada en la lógica y el sentido común fundamentado por una correcta conexión entre los materiales de los que están hechos. Pensar que la tierra funciona bien con la tierra, es algo que aunque pueda parecer extremadamente sencillo, a la hora de ponerlo en práctica, no siempre ha resultado así. Por eso, este trabajo pretende, mediante una serie de estudios, intentar poner de nuevo en primera línea, la posibilidad de extender el empleo de revestimientos de barro, ya bien sobre antiguos muros, ya bien sobre soportes contemporáneos, igualmente de tierra. Siendo consciente de las mejoras exigidas por las necesidades actuales de habitabilidad, se propone además, mejorar el comportamiento de esos revestimientos mediante la adición de diferentes fibras naturales, que en este caso han sido, la comúnmente utilizada paja, el esparto y el sisal. La elección de estos materiales está basada también en varios aspectos clave, como el bajo impacto medioambiental que suponen y el mínimo coste económico al que están asociados.

Dentro de un ámbito más específico, se ha buscado contextualizar estas primeras intenciones en un municipio real, como es el caso de Hita (Guadalajara), para abrir una puerta al camino de la recuperación de estas técnicas tradicionales, empleadas durante tanto tiempo en este pueblo y abandonadas por completo en la actualidad, como en tantos otros pueblos de la Península Ibérica.

2.2_ OBJETIVOS GENERALES

Los objetivos generales en este trabajo están enfocados a:

- Conocer la historia de la arquitectura con tierra así como su distribución geográfica desde la antigüedad.
- Conocer los sistemas constructivos empleados más comunes.
- Comprobar qué materiales han sido reconocidos como los idóneos para garantizar una mayor durabilidad de este tipo de construcciones.
- Recopilar los diferentes tipos de revestimientos viables para mejorar las prestaciones de los muros con tierra.
- Estudiar mediante la documentación recogida, el comportamiento de los revestimientos de barro para su posterior aplicación sobre soportes de tierra: granulometría, adiciones y aditivos, tipos, aplicación...

2.3_ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos se orientan a:

- Analizar las propiedades de tres muestras de tierras extraídas de distintas zonas del municipio de Hita (Guadalajara). Seleccionar de ellas la que presente características más apropiadas para la elaboración de revestimientos de tierra.
- Estudiar el comportamiento de los morteros de barro realizados con la muestra seleccionada.
- Estudiar el comportamiento de esos revestimientos con la adición de fibras naturales: paja, esparto y sisal. Realizar por tanto los ensayos pertinentes que determinen las propiedades de los mismos: retracción, goteo, intemperismo, capilaridad, flexión y compresión.
- Comparar entre sí los morteros para determinar qué fibra mejora de manera más significativa el revestimiento de barro.
- Estudiar la posibilidad de la recuperación de estas técnicas tradicionales, principalmente orientadas a la rehabilitación, en el término de Hita. Para ello se hace necesaria la realización de un estudio de las construcciones con tierra existentes en la zona y de las patologías de los revestimientos más comunes.

3_ Metodología

Para la consecución de estos objetivos primeramente se ha realizado una búsqueda bibliográfica sobre los diferentes tipos de revestimientos existentes como protección de soportes de tierra, comprobando que tipos de granulometrías son las más acertadas, que adiciones son las más recomendadas, y que productos, tanto de empleo tradicional como de empleo actual (surgidos raíz de diferentes investigaciones), han dado los resultados más positivos mejorando la durabilidad de este tipo de construcciones.

Una vez realizada esta primera parte, se ha pasado a la fase experimental, en la que se han seleccionado los materiales con los que se quería trabajar para definir un plan de ensayos. En este trabajo se han realizado tanto ensayos de tierras (mecánica de suelos), como ensayos aplicados a los revestimientos de barro.

Se ha determinado una serie de criterios en base a los cuales se ha elegido el mejor suelo para elaborar morteros de barro (apoyado en la búsqueda bibliográfica previa).

Se ha definido los parámetros, que a través de una primera interpretación, podían dar resultados sobre qué tipo de fibra añadida al revestimiento de barro presenta mejores prestaciones.

Una vez realizada la fase de experimentación, se ha hecho una tercera fase de interpretación de resultados, sacando unas conclusiones de los estudios realizados y estableciendo unas líneas de investigación para trabajos futuros.

Paralelamente, se ha estudiado la situación de las construcciones con tierra en Hita (Guadalajara), haciendo un análisis de algunas de las existentes, elaborando una ficha tipo sobre las patologías más comunes que se presentan en los revestimientos de barro.

4_ Estado del arte

Este punto consiste en la descripción de algunos de los ensayos y experimentos realizados con relación al tema que se está tratando, así como de varios trabajos de investigación que han resultado de gran ayuda para la definición de los parámetros empleados en el presente estudio. Esta descripción se completa con los objetivos buscados en cada caso, la metodología seguida, así como con las conclusiones finales obtenidas.

Añadir que aunque algunos de los trabajos hagan referencia a estudios sobre adobes, estos son extrapolables a los morteros de barro, porque en la mayoría de los casos se emplea la misma mezcla, únicamente que los morteros suelen trabajarse con un contenido de agua ligeramente superior.

MEJORA DE LA TIERRA ESTABILIZADA EN EL DESARROLLO DE UNA ARQUITECTURA SOSTENIBLE HACIA EL SIGLO XXI

(Barbeta i Solà, G.)

El objetivo de esta tesis doctoral es determinar una nueva metodología para construir con tierra estabilizada, con resistencias y durabilidad óptimas, para permitir el desarrollo de una arquitectura sostenible en el siglo XXI. Para ello, se pretende en primer lugar, definir el diseño ecobioconstructivo que hace posible esta tendencia arquitectónica; y en segundo lugar, se pretende definir las pautas de un método científico – técnico que logre una construcción optimizada al máximo, en cualquier caso y situación.

Las conclusiones sobre el método expresan que aunque se hace mucho hincapié en la ejecución de los BTC, éste se puede aplicar a cualquier otro elemento constructivo con tierra; básicamente el método consiste en efectuar un análisis previo ecobioconstructivo de los condicionantes arquitectónicos y socioeconómicos, de la cultura y tradición local, y del entorno para decidir la tecnología de ejecución de la obra en tierra. Ello engloba el sistema de estabilización con productos de la zona, la forma de extracción y elaboración de la tierra estabilizada, del sistema de puesta en obra y la forma de construir; como siguiente paso se debe determinar los parámetros físicos que condicionan la durabilidad y la puesta en obra: absorción y retracción; una vez

definidos todos los parámetros, se acude a las tablas de estabilización para obtener la dosificación optimizada.

Como conclusión final sobre el experimento llevado a cabo se cita que los buenos resultados de los bloques estudiados hacen perfectamente viable la obtención estandarizable de tierra y constituyen un primer paso para la industrialización de los BTC.

COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS PARA LA CONFECCIÓN DE ADOBES

(Barrios, L.; Álvarez, L; Arcos, H.; Marchant, E.; Rosi, D.)

Este trabajo tiene como finalidad conseguir una mezcla que optimice los componentes, consiguiendo maximizar la respuesta del material frente a algunas solicitaciones mecánicas y físicas (resistencia a flexotracción, resistencia a compresión, retracción lineal, velocidad de ascensión de agua por capilaridad). Los resultados se utilizan en caso de fabricación de adobes y de morteros de barro.

Factor	Nivel	Descripción
Suelo	1	Colina Til-Til
	2	
Arena	1	0 %
	2	20 %
	3	40 %
	4	60 %
	5	80 %
Estiércol	1	0 %
	2	2 %
	3	5 %
Agua	1	$P_w + 2/3 I_p$
	2	L_w
	3	$L_w + 1/3 I_p$
	4	$L_w + 2/3 I_p$
	5	$L_w + I_p$

Fig. 26. Relación de los componentes empleados.

Los factores que se tuvieron en cuenta a la hora de definir la metodología fueron los siguientes que aparecen en la Fig. 26.

Como conclusiones se incluyen: que el comportamiento del mortero de barro depende en gran medida de las características mineralógicas, físicas y químicas de sus componentes y en especial de la fracción fina, por eso es de vital importancia determinar su plasticidad; es recomendable emplear bajos índices de

plasticidad para evitar así una fuerte retracción durante el secado; un elevado contenido de arcilla producirá mayores retracciones; cuanto más se acerque la relación limo / arcilla a la unidad, más eficientes serán las propiedades del mortero de barro seco; al variar la cantidad de arena de un suelo, es posible controlar las retracciones del secado y la fisuración que se presenta cuando se capta agua por capilaridad; a medida que se incrementa el porcentaje de arena, se producen pérdidas significativas de las propiedades mecánicas del mortero (el rango admisible está delimitado por un 55-65% de arena); las máximas resistencias a flexotracción y compresión, ya sea por suelo o independiente de los mismos, se obtiene para el nivel

3 de agua correspondiente al límite líquido más un tercio del índice de plasticidad; al agregar estiércol no se reducen las retracciones pero las bajas dosis mejoran la trabajabilidad del mortero de barro; para reducir las fisuraciones será necesario emplear fibras naturales.

ESTABILIZACIÓN DE MORTEROS DE BARRO PARA LA PROTECCIÓN DE MUROS DE TIERRA

(Castilla Pascual, F.J.)

La presente tesis doctoral tiene como objetivos: demostrar la viabilidad de la conservación de los muros de tierra mediante procedimientos que permitan mantener y poner en valor tanto las técnicas tradicionales, en vías de desaparición, como la utilización de este material en los distintos sistemas constructivos, especialmente en los revestimientos, adaptados a las exigencias actuales, para ello se aportan datos acerca del comportamiento de los revocos de barro exteriores, combinados con otros materiales disponibles en la actualidad, para su comparación con otros materiales utilizados tradicionalmente.

La estructura del trabajo se fundamenta en varias partes: la primera es un estudio documental sobre las distintas soluciones de revestimiento y protección de los muros de tierra y el resto de las partes hacen referencia a un estudio experimental sobre distintos métodos de estabilización de morteros de barro, eligiendo las comarcas de los Oteros y del Cea, en León, para completar los ensayos de laboratorio con ensayos de campo completando así el estudio documental.

Los materiales empleados fueron:

- Barro y paja: Las tierras utilizadas se corresponden con dos muestras diferentes, una del Burgo Ranero (terreno 1) y otra de Santa María de los Oteros (terreno 2). Para las correcciones se empleó arena de río de Guadalajara. Se empleó un porcentaje de paja en el embarrado del 8% en peso en el terreno 1 y del 10% en peso del terreno 2, con una longitud de las fibras de 50 – 100 mm.
- Estabilizantes: A raíz de otro estudio en el que el autor participó, y en el que se emplearon numerosos estabilizantes para la consolidación de muros de tapial, se concluyó que el producto que mejoraba en mayor grado los muros de tierra era el SIKALATEX, que añadido al agua utilizada para humedecer la tierra en

proporción estabilizante- agua 1/15, disminuía la absorción de agua, la erosión, aumentaba la resistencia a compresión y la dureza superficial. Por tanto en este trabajo se optó por profundizar en el comportamiento de este estabilizante (emulsión de estireno-butadieno).

Para la obtención de resultados se realizaron numerosos ensayos como: ensayos de ciclos de humedad-sequedad; ensayos de goteo e intemperismo; ensayos de difusión del vapor de agua; ensayos de adherencia...

Como conclusiones a la experimentación sobre la estabilización: los estabilizantes comerciales pueden mejorar la durabilidad de los morteros de barro sin afectar ni perjudicar al muro de tierra; se puede mejorar hasta un 50% la adherencia de los trullados tradicionales sobre los soportes de tierra; el comportamiento de los revestimientos es muy similar tanto en muros de adobe como en tapia; los morteros estabilizados con SBR presentan una disminución en la capacidad de absorción de agua y como consecuencia un aumento de la durabilidad frente a la erosión; la disminución de difusión al vapor de agua es prácticamente inapreciable (en torno al 5%); la emulsión puede añadirse al agua de amasado; el tratamiento es reversible sin alterar las posibilidades de reciclado del barro.

CONSTRUCCIONES DE TIERRA. EL TAPIAL. NUEVO SISTEMA PARA CONSTRUCCIÓN Y RESTAURACIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE << TIERRA PROYECTADA>>

(Fuentes García, R. M^a.)

Esta tesis doctoral propone una nueva forma de rehabilitación de tapiales que presentan importantes pérdidas de material. Para ello se estudia un nuevo sistema denominado como *tierra proyectada*, el cual se estudió sobre diferentes muros de tapia en la Alhambra. Como materiales empleados en esta investigación se encuentra:

- Material básico: Perteneciente a la Formación Alhambra, que aflora en al borde noreste de la Depresión de Granada. Es un material granular y de naturaleza variable con matriz arcillosa y que presenta generalmente colores rojizos.
- Árido dolomítico: Procede de las canteras situadas al este de la Depresión de Granada, dónde afloran grandes cantidades de materiales de los Mantos intermedios Alpujárrides. Está constituido por dolomita y se empleó para corregir las mezclas en las que el material básico presentaba exceso de finos.
- Materiales aglomerantes:

- Cal cálcica hidratada en polvo suministrada en sacos.
- Cemento blanco de albañilería.
- Aditivos: Se han empleado de dos tipos, por un lado superfluidificante para disminuir la cantidad de agua necesaria en la proyección y por otro hidrofugante.

Con estos materiales, se realizaron ensayos tales como: ensayos físicos en suelos (determinación de la granulometría, índices plástico y líquido, proctor...); ensayos químicos (determinación del contenido de carbonatos en suelos, de sulfatos, de materia orgánica...); mecánicos (resistencia a compresión, adherencia...) y ensayos de durabilidad (lluvia, heladicidad...), en cada una de las siguientes mezclas:

1. Mezcla con material madre (realizada con el material básico).
2. Mezcla como material madre + distintos contenidos de cal (estudiando el más apropiado).
3. Mezcla de material madre + distintos contenidos de cemento (ídem).
4. Mezcla de material madre + cal + cemento (al entenderse que finalmente sería necesario utilizar mezclas con los dos aglomerantes).
5. Mezcla de material madre + 8% de cal.
6. Mezcla de material madre + 8% de cal + 2% de cemento.
7. Mezcla de material madre + 8% de cal + 2% de cemento + 25% de árido dolomítico.

Como conclusiones obtenidas en este trabajo, decir que la muestra que mejor prestaciones tiene es la n° 7, con un contenido de humedad del 25%, a la que se incluye fibra de polipropileno y fluidificante 0,5l., por cada amasada de unos 0,500 m³. En cuanto a los sistemas de proyección, se concluyó que es más favorable el de vía húmeda, ya que con el de vía seca no se puede controlar la homogeneidad de la mezcla. Finalmente, se expone que resulta una buena alternativa para la restauración de tapias logrando un gran parecido con la tapia original.

FIBRAS NATURALES DE LECHUGUILLA COMO REFUERZO EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

(Juárez, C.; Valdez, P.; Durán, A.)

Este trabajo expone los resultados de la adición de fibras de lechuguilla (de la familia del agave sisalana) en el cemento.

Primeramente se hizo una caracterización física de las fibras, determinando su diámetro, longitud promedio, porcentaje de absorción de agua, densidad absoluta y porosidad. Para minimizar el deterioro de las fibras, se propuso la impregnación de éstas con seis sustancias económicas, repelentes al agua y que no modificaran las propiedades del cemento: aceite de linaza (AL); aceite de linaza más resina natural (AL+RN); parafina (P); parafina más resina natural (P+RN); sellador para madera (S) y creosota (Cr).

Como conclusiones se citan las siguientes: que las fibras naturales de lechuguilla, debido a sus significativas propiedades físico - mecánicas, así como su resistencia última a tensión, se presentan como una alternativa viable para el refuerzo del cemento; que el tratamiento protector con parafina le permite a la fibra reducir notablemente su capacidad de absorción de agua, además de mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión tras haber sido expuesta en ambiente húmedo y alcalino durante un año; que la fibra de lechuguilla permite un comportamiento dúctil de la mezcla; que las fibras largas (en torno a 40-50 mm.) adicionadas en porcentajes bajos del volumen total de la mezcla, proporciona al cemento la capacidad de soportar mayores cargas de flexión en comparación a los morteros sin fibras y que la densificación de la matriz mediante la disminución de la relación A/C ayuda a reducir la absorción de agua y a incrementar la resistencia a flexión de manera más significativa en los morteros estabilizados con fibras.

SHRINKAGE, ABRASION, EROSION AND SORPTION OF CLAY PLASTERS

(Minke, G.)

Este estudio, llevado a cabo por el FEB de la Universidad de Arquitectura de Kassel, consiste en la determinación del comportamiento de cientos de revocos de barro frente a la fisuración por secado, absorción de humedad, abrasión y erosión. Para estas dos últimas variables, se desarrollaron incluso nuevas técnicas y aparatos que pudieran dar resultados fiables.

Por lo general, los morteros con baja resistencia a la erosión tienen también baja resistencia a la abrasión. En cuando a la cantidad de humedad absorbida, ésta depende del contenido de arcilla, del tipo de arcilla (si es montmorillonita absorberá más que por ejemplo la caolinita) y de la cantidad de fibras orgánicas que posea (más fibras, más absorción).

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

(Osorio Saraz, J.A.; Varón Aristizabal, F.; Herrera Mejía, F.)

La finalidad de este trabajo consiste en determinar la influencia de la cantidad de fibras y de su tamaño en el hormigón, así como la resistencia a compresión y la densidad del material final resultante.

Para tal estudio, se realizaron probetas con una relación 1:2:3 (cemento arena y grava) y con un contenido variable de fibras: 0,5 – 2,5 y 5% en peso del agregado grueso. Las fibras utilizadas proceden del bagazo de caña de azúcar. El bagazo es el residuo que queda en la materia tras ser extraído su jugo. El bagazo seleccionado presentaba una humedad del 35%. Las fibras de bagazo se trataron previamente antes de su utilización para protegerlas del medio alcalino de la pasta de cemento, sumergiéndolas en hidróxido de calcio durante 24 horas. El cemento utilizado era Portland tipo I. La relación agua/cemento era de 0,55. A la mezcla compuesta por concreto y fibras de bagazo se le añadió cloruro de calcio en un 3% en relación a la cantidad de cemento. Para la elaboración de las probetas con un porcentaje de fibras de 0,5 – 2,5 y 5% como reemplazo del árido grueso, se mantuvieron las siguientes relaciones respectivamente: 1:2:2,98:0,015; 1:2:2,92:0,075 y 1:2:2,85:0,15 (cemento, arena, grava y fibra). En total se elaboraron 6 tipos de mezcla, 3 por cada abertura de tamiz (tamiz nº 4 y tamiz nº 6, por dónde quedarían retenidas las fibras con una longitud de entre 15 y 25 mm.).

En los resultados, se puede observar que factores como los días de fraguado, el porcentaje de fibra y la abertura de tamiz, influyen en la resistencia final a compresión. En el caso de las probetas con la misma cantidad de fibras, se produce una reducción en la resistencia a compresión cuando el tamaño de la fibra es mayor. La resistencia es mayor cuanto menor es el porcentaje de fibra en el concreto. En el caso de la densidad, se obtuvo mayores valores para un mismo contenido de fibra, en los del tamiz nº6 que en los del tamiz nº 4.

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESCAYOLA REFORZADA CON FIBRAS DE SISAL, PARA COMPONENTES EN VIVIENDAS DE BAJO COSTE

(Oteiza San José, I. de)

El objetivo de este trabajo consiste en la adición de fibras cortas de sisal a una matriz de escayola para su experimentación, determinando la viabilidad de su uso en viviendas para bajo coste.

El trabajo se organiza en dos partes, por un lado el estudio de cada componente por separado: fibras de sisal y escayola; y por el otro el estudio de las propiedades físico-mecánicas de la escayola reforzada con fibras de sisal.

El proceso experimental se llevó a cabo analizando el comportamiento del material compuesto mediante el estudio de varios factores como: el agua de amasado, la longitud y la cantidad de fibras. Se realizaron ensayos de compresión, flexotracción e impacto y adherencia. Se utilizaron diferentes cantidades de la fibra en peso (1, 2 y 3%) y diferentes longitudes (20, 35 y 40 mm.).

Se concluye de la siguiente manera: la adición de las fibras de sisal incrementaron la tenacidad en los ensayos de flexotracción y la capacidad de absorción de energía en los ensayos de impacto; la rotura frágil de la escayola cambia con la adición de fibras, aumentando la tenacidad a medida que la cantidad y la longitud de éstas se incrementan; el compuesto que mayor tenacidad presenta, es el de 2% de fibra en peso y longitudes de 40 mm.; la adición con fibras cortas (10-40 mm.) no presenta mejoras significativas respecto a la matriz sola en cuanto a resistencias a flexotracción.

PRELIMINARY INVESTIGATION INTO MECHANICAL PROPERTIES OF CLAY REINFORCED WITH NATURAL FIBRES

(Peetsalu, P.; Resev, J.; Ruus, A.; Menind, A.; Kers, J.; Sepper, S.; Olt, J.)

El objetivo que busca este trabajo es comprobar el comportamiento de la tierra adicionada con fibras de lino para su posterior utilización en la realización de muros y revestimientos de barro.

Los materiales utilizados en este experimento fueron: tierra (arena y arcilla), agua (en un contenido del 20% del volumen) y fibras con longitudes de 5, 30 y 50 mm. (el contenido era de 14 gr. por probeta). Se realizaron 4 tipos de muestras diferentes (con tres probetas por cada muestra), una sin fibras y las otras tres con fibras en los porcentajes anteriormente citados.

Las conclusiones de este trabajo se obtienen de los siguientes resultados: las fibras de lino incrementan la resistencia a compresión disminuyendo la difusión de las fisuras; las fibras con longitudes de 30 mm. son las que mayores resistencias a compresión ofrecen; las resistencias a compresión obtenidas en las mezclas con fibras de 5 mm. y de 50 mm. son similares; las fibras con longitudes de 30 mm. se rompieron tras el ensayo de compresión y las fibras de 5 mm. se salieron de la matriz; las fibras de 50 mm. disminuyen la trabajabilidad y al no permitir una distribución homogénea de la carga, se consiguen resistencias a compresión inferiores; la fracción óptima de fibra se comprende entre 5 - 30 mm.

IDENTIFICACIÓN PARA LA COMPOSICIÓN ÓPTIMA DEL ADOBE

(Rodríguez, M.A.; Saroza, B.)

El objetivo de este trabajo es estudiar cual es la composición óptima, tanto para el adobe simple como para el estabilizado. Para ello, se ha realizado estudios de compactación, de resistencia a compresión simple y de absorción de agua por capilaridad, en el adobe simple, y en el estabilizado con cal, miel y asfalto en diferentes proporciones.

Al caracterizar el suelo empleado, éste se correspondía con una arena arcillosa, con una dosificación de 60% arena, 15% limo y 25% arcilla. Para la estabilización mecánica, se utilizaron diferentes contenidos de fibra orgánica (caña de azúcar cortada en pequeños trozos), con relaciones volumétricas suelo/materia orgánica de 4, 2 y 1. Otros estabilizantes empleados fueron: la cal (5, 8 y 12%); la miel de caña (3, 5 y 7%); miel y cal (3-2%; 5-2% y 7-2%); y asfalto (2,4 y 6%).

Como conclusiones, se expone que el adobe simplemente estabilizado con fibras solo presenta una resistencia a compresión mayor a 1MPa en los casos con un 25% de materia orgánica, disminuyendo la resistencia a medida que el contenido de ésta aumenta. El estabilizante con mayor resistencia a compresión fue el asfalto, seguido de la mezcla de cal y miel de caña. En cuanto a la resistencia total de la mezcla, las más altas se obtuvieron en aquellas con una estabilización del 25% de materia orgánica y del 2% de asfalto.

En cuanto a la resistencia a la humedad, los valores más positivos se dan en las mezclas estabilizadas con asfalto.

Teniendo en cuenta los dos ensayos juntos, la mejor combinación es la del 25% de materia orgánica y 2% de asfalto.

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL ADOBE ELABORADO CON SUELOS PROCEDENTES DE CRESCENCIO VALDÉS, VILLA CLARA, CUBA

(Saroza, B.; Rodríguez, M.A.; Menéndez, J.M.; Barroso, I.J.)

En este trabajo se experimenta con la resistencia a compresión simple que se obtiene con adobes elaborados en el pueblo de Crescencio Valdés.

Para la realización del estudio se tomaron muestras de 12 suelos diferentes, las que se sometieron a ensayos de caracterización e identificación: granulometría, plasticidad, porosidad, proctor... presentando las siguientes características.

Una vez determinado el contenido de humedad para cada tipo de suelo, se añadió las fibras en una relación volumétrica suelo/ fibra orgánica 4, 2 y 1.

Como conclusiones se expone que no hay una granulometría exclusiva para la obtención de buenos resultados; que en todos los casos es conveniente un porcentaje de arcilla superior al 15%; que las mayores resistencias se dan en las mezclas con una contenido de arena superior al 50%; que las mayores resistencias a compresión se dan en las relaciones suelo/fibra 4.

Como conclusión basada en los estudios citados anteriormente y relacionados con el tema que se viene desarrollando, se puede afirmar que no hay ninguna investigación que trabaje los objetivos perseguidos con la realización de este estudio.

5_ Desarrollo del trabajo

5.1_ ESTUDIO DOCUMENTAL

5.1.1_ APROXIMACIÓN AL MUNICIPIO DE HITA (GUADALAJARA)

Hita se ubica a 28 km. de la capital de provincia, Guadalajara. El caserío se asienta en el costado meridional de un cerro desde dónde se domina el valle del Henares. La villa sigue siendo testigo de su rico pasado medieval, que se manifiesta a través de las empinadas y tortuosas calles y callejuelas que ascienden por la ladera del cerro.

El origen de este pueblo no está del todo claro, algunos historiadores lo sitúan con un pasado romano, identificándolo con la antigua Caesada, Madoz (1987I, 230) y Bosch-Gimpera (1932, 438), opinión no compartida por Sánchez Lafuente (1980, 18) ni Tovar (1989, 224), éste último la emplaza en <<El Monte>>, entre Carrascosa y Espinosa de Henares. Corral (1987, 42), dice que en Hita se encontraron restos fechables del Hierro II.

Lo que sí es cierto es que su privilegiado emplazamiento, próximo a la calzada romana que seguía el curso del Henares y que comunicaba Emérita Augusta (Mérida) y Cesaraugusta, hizo propicia la aparición de un pequeño castro defensor en lo alto de su cerro, surgiendo un poblado en las partes más bajas del mismo.

El pasado árabe de Hita está más que corroborado, debido a los restos arqueológicos encontrados (principalmente cerámicas), y de poemas de la época como el Poema del Cid. Tras el dominio árabe, Hita pasó a los castellanos después de que las tropas de Alvar Fañez redujeran el núcleo árabe que se había asentado en la zona hasta aquel momento, mismo año en el que el Reino de Toledo pasó a manos de Alfonso VI, y por tanto a los Castellanos (1085).

A partir de este momento, Hita prosperó mucho. La reina Doña Urraca, concedió el señorío de Hita y Uceda a Fernán García en 1119, quien estuvo casado en primeras nupcias con una hija del conquistador Alvar Fañez de Minaya.

En la primera mitad del siglo XII Hita se hizo importante, destacaba por su posición, fortaleza y la vida de sus gentes. Dentro de las murallas medievales, a las que se tenía acceso por al menos tres puertas, se alzaban las iglesias con sus colaciones: Santa

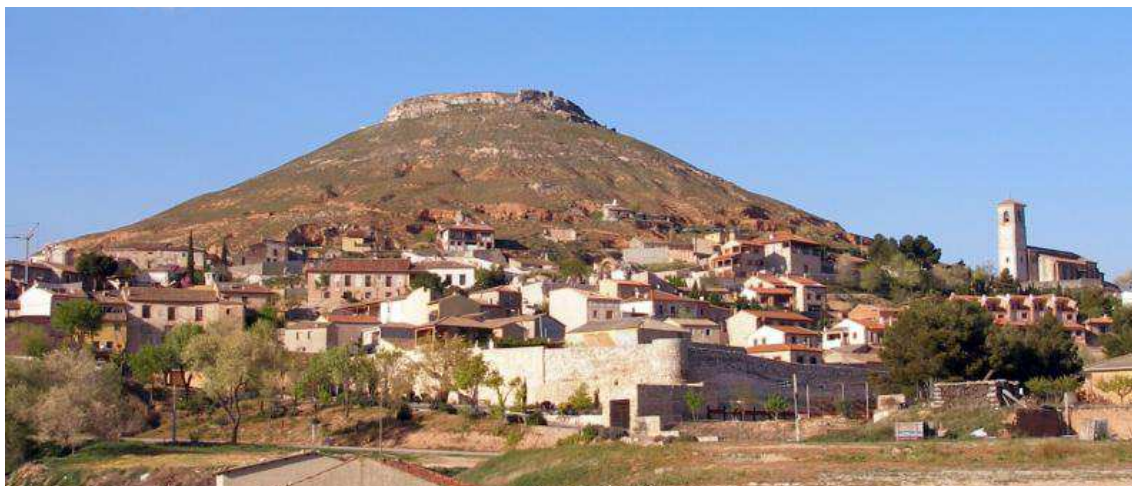


Fig. 27. Vista de Hita, Guadalajara.

María, San Juan, San Pedro, San Miguel, así como las de San Román y San Julián (estas dos últimas desaparecidas ya en el siglo XVIII). Los historiadores argumentan que durante la primera etapa cristiana, la ciudad seguía encorsetada por la antigua cerca árabe.

A lo largo de la regencia de María de Molina (1295 – 1302), Hita fue atacada por las tropas del Infante Don Juan, destruyéndose parte de la antigua muralla. Esta muralla fue reconstruida entonces, y se incluyó a intramuros los núcleos de población surgidos en los años anteriores fuera de la antigua cerca. La fisonomía de la villa se mantendría hasta tras la Guerra Civil (1936 – 1939), ya que Hita quedó totalmente dañada y con la reconstrucción se ampliaron sus antiguos límites medievales.

Sin duda, el mayor apogeo de la villa tendría lugar con la llegada de los Mendoza a Guadalajara. El primer mayorazgo que instituyó Don Pedro González de Mendoza en 1378, confirmado por el rey Don Juan I en Toledo en el año 1380, dejó a su hijo Diego los señoríos de Hita y Buitrago entre otros. Don Diego Hurtado de Mendoza fue almirante de Castilla en el reinado de Enrique III. Tras una serie de percances el señorío de Hita y Buitrago pasó a manos de su hijo Íñigo, más tarde primer marqués de Santillana. Don Íñigo López de Mendoza, fue un hombre valeroso, culto y un excelente político que no dudó en ampliar sus dominios. Desde el cerro de Hita, podía dominarse toda la llanura del Henares hasta Alcalá, pero el viejo castillo no servía para responder a las necesidades defensivas del momento. Por eso, el primer marqués de Santillana, hacia 1430, mandó construir casi de primera planta, un nuevo castillo sobre el cerro, así como la muralla de mampostería de la que actualmente existen restos. Este nuevo castillo contaría con numerosas estancias en planta baja destinadas a

almacenes, armería, cuadras... mientras que el piso superior serviría de vivienda a los señores.

Si bien es cierto que el marqués de Santillana tenía como residencia principal la vivienda situada en las proximidades de la iglesia de Santa María, en Guadalajara, nunca echó al olvido su fortaleza en Hita, la que le sirvió como centro de operaciones militares.

Fue bajo el reinado de los Reyes Católicos cuando la familia Mendoza alcanzó su mayor poderío y en ese mismo momento, cuando Hita comenzó a decaer al consolidarse la monarquía absoluta, contando con un castillo ya obsoleto.

Aunque desde entonces y hasta 1936, comienzo de la Guerra Civil, la población ya había venido a menos (apenas un cuarto de la población existente en el siglo XV), el conjunto de la villa situado en la ladera occidental del cerro, con gran parte de sus murallas medievales, la puerta principal de entrada, el castillo en lo alto del cerro y sus dos iglesias, resultaba de gran atracción ya que permanecía viva la esencia de pueblo medieval. Fue hasta aquél entonces que también se podía observar, prácticamente íntegra, la puerta de entrada principal Puerta de Santa María, fabricada con piedra caliza blanca y constituida por un arco ojival, adornado con el escudo de los Mendoza. Pero esta puerta (su arco y su almenado adarve) fue volada en la segunda mitad de 1936 por los marxistas, con el pretexto de facilitar el paso de camiones.

Tras los bombardeos de la guerra, el caserío y las iglesias quedaron muy dañados y la Dirección de las Regiones Devastadas fue la encargada de reconstruir parcialmente el pueblo. El inconveniente de esta actuación es que se tenía por obligación no construir sobre los históricos solares, por lo que se realizaron tales construcciones en las partes más bajas y llanas del cerro, a modo de casitas andaluzas, sin ninguna conexión con el anterior pasado de la villa.

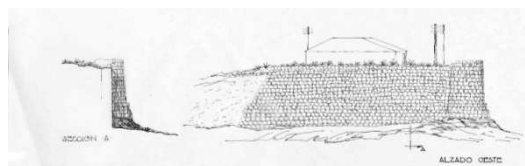


Fig. 28. Muralla medieval de Hita. Alzado oeste y sección A-A'. Fuente: www.hita.es

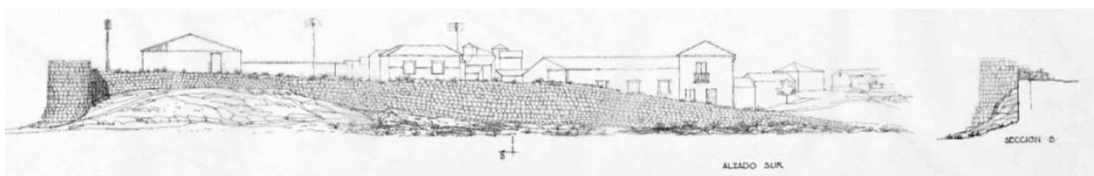


Fig. 29. Muralla medieval de Hita. Alzado sur y sección B-B'. Fuente: www.hita.es

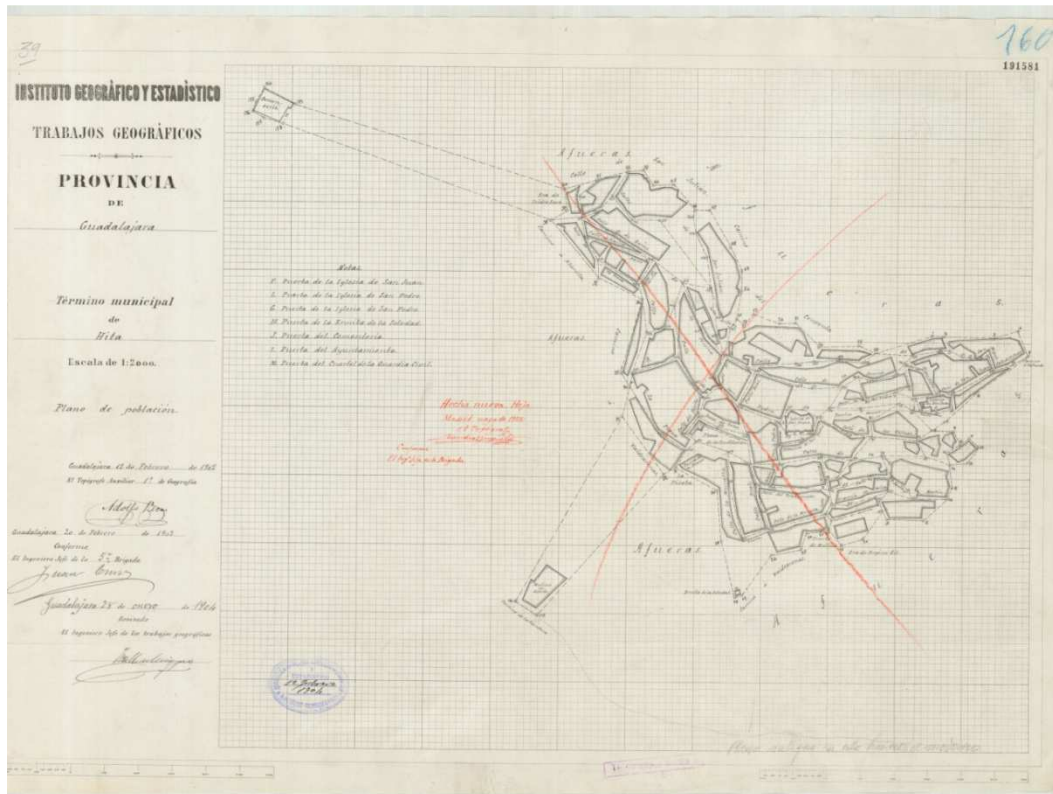


Fig. 30. Plano urbano de Hita. 1903. Fuente: www.hita.es

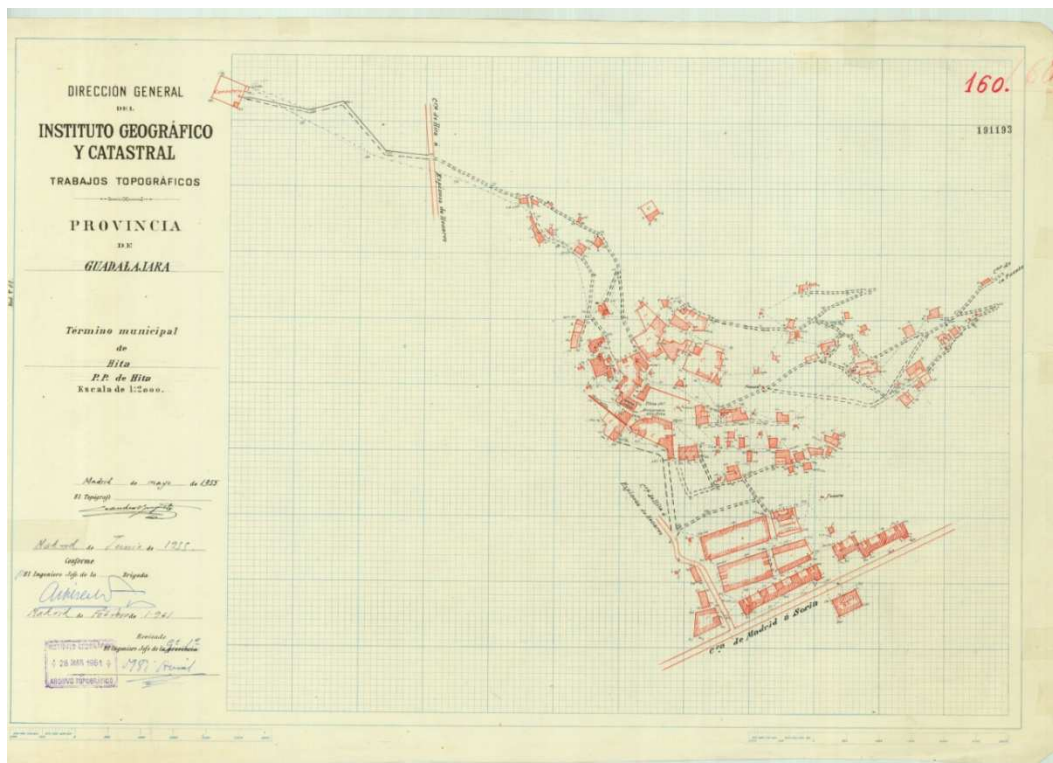


Fig. 31. Plano urbano de Hita. 1955. Fuente: www.hita.es

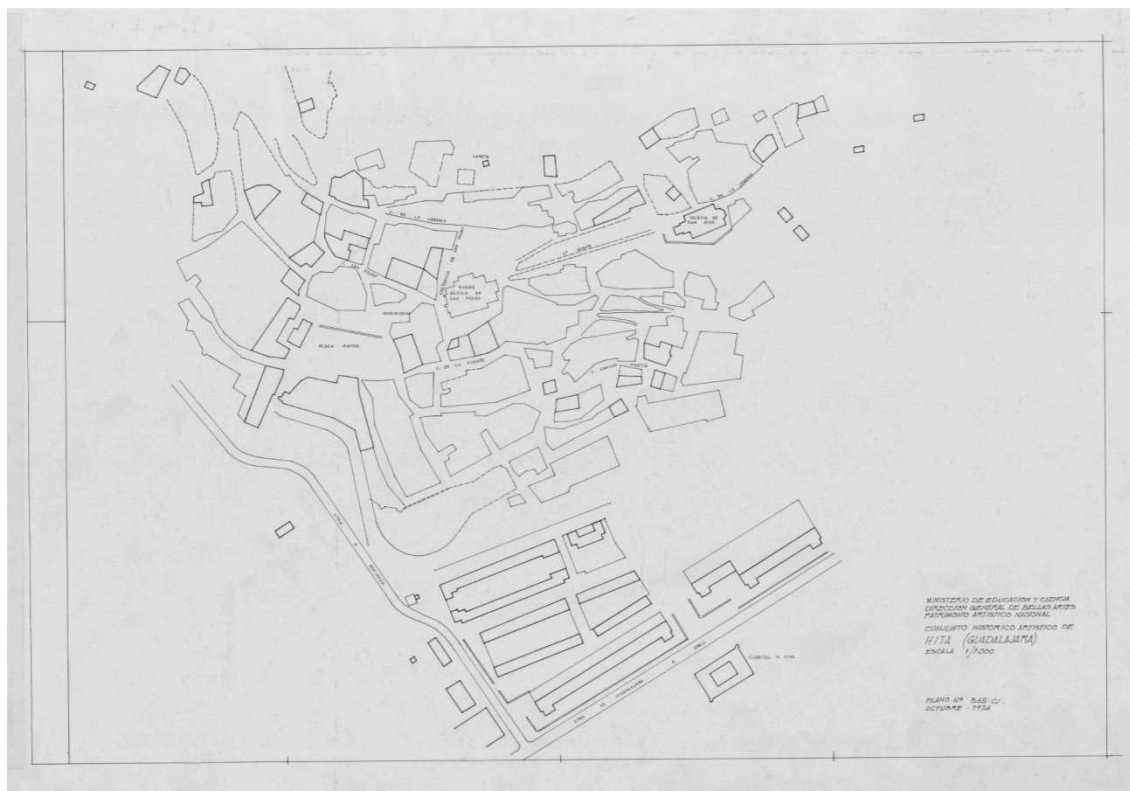


Fig. 32. Plano urbano de Hita. 1974. Fuente: www.hita.es

5.1.2_ CONSTRUCCIÓN CON TIERRA EN HITA: ESTUDIO DE CASOS ACTUALES. FICHAS DESCRIPTIVAS DEL INMUEBLE Y DEL ESTADO DEL REVESTIMIENTO

Los restos de construcciones con tierra en Hita predominan a lo largo de todo el pueblo. Denotan un pasado muy vinculado a la agricultura y a la ganadería, ya que muchos de los inmuebles que perviven están destinados a un uso industrial: pajares, cuadras... También son numerosas las viviendas cuyo sistema constructivo principal está basado en tierra, pero éstas, a diferencia de las edificaciones con uso industrial, han sido adecentadas en estas cuatro últimas décadas con materiales tales como el ladrillo cocido, hormigón, cemento... abandonando así las técnicas tradicionales con tierra.

Como se ha comentado anteriormente, Hita fue gravemente dañada durante la Guerra Civil, algunos historiadores apuntan a que el 90% de su caserío sufrió desperfectos. Parte de estos fueron asumidos por la Dirección General de Regiones Devastadas, pero otros inmuebles (destinados principalmente a pajares) quedaron abandonados desde aquel momento, agudizando la actual decadencia de la construcción con tierra en el municipio.

En las siguientes páginas se muestra una selección de construcciones actuales que mantienen su original revestimiento de barro.

nº 1

UBICACIÓN	AÑO	SUP. CONST	USO
CL Garay 5	1900	79 m2	Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Se trata de una edificación en planta rectangular. El sistema constructivo predominante es el adobe en todas las fachadas excepto en la oeste, dónde se sustituye por una tapia con machones de adobe. Todas las fachadas arrancan de un zócalo de piedra de aproximadamente 90 cm. de altura. La fachada sur está revestida de una hoja exterior de L.H.D. Dinteles y puertas de madera. Estado de conservación en ruinas.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

El revestimiento a base de mortero de barro y paja es prácticamente inexistente. El desprendimiento es casi total a excepción de la fachada este, dónde se conserva parte del mismo. La acción de agentes externos, junto con el abandono que sufre el inmueble y por tanto la falta de mantenimiento han provocado que los daños en el revoco de barro sean irreversibles. Además, el poco revestimiento que queda presenta en algunas zonas abombamientos previos a un nuevo desprendimiento del mismo. El espesor es el mínimo, no alcanzando en la mayor parte del revoco ni 1 cm. de grosor.

IMÁGENES



nº 2

UBICACIÓN	AÑO	SUP. CONST	USO
CL Dña. Urraca 1-3	1900	104 m2	Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Edificación poligonal de 5 lados con acceso a dos niveles de calle. El sistema constructivo predominante es la tapia con machones de adobe sobre zócalo de piedra, con inserciones de ladrillo cocido. Los ementos de carpintería son de madera. Estado de conservación en ruinas, manteniéndose íntegramente en pie la fachada noreste. Es uno de tantos pajares que quedaron dañados por la Guerra Civil (1936-1939).

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

Únicamente se mantiene el revestimiento de la fachada noreste. Éste consiste en una mezcla de barro adicionada con paja. El estado de conservación es bastante malo. Tan solo en la zona protegida por el alero de cubierta, se puede apreciar un mejor estado del revoco. El resto del paramento se encuentra desprovisto de protección ya que el revestimiento se ha desprendido del soporte, y lo que queda sufre importantes fisuras y grietas de retracción. Además en vez de renovar el revestimiento de barro, se ha intentado solucionar el problema con parches de mortero de cemento.

IMÁGENES



n° 3**UBICACIÓN****AÑO****SUP. CONST****USO**

CL Plaza 30

1950

170 m2

Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Inmueble de planta poligonal con 4 fachadas. Sólo la fachada norte deja vista la tapia reforzada con machones de adobe. El resto de paramentos se protegen con revoco de cemento. El muro de tapia arranca sobre un zócalo de piedra de 15 cm. de altura aprox. Antiguamente esta edificación estaba destinada a vivienda, pero en la actualidad sirve de pajar. El estado de conservación es regular, por falta de mantenimiento.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

El revestimiento es prácticamente inexistente, tan solo se conserva la primera capa de aplicación sobre los machones de adobe de la fachada norte. En la tapia, como la superficie es más lisa, y por tanto la adherencia es peor, no hay restos del mismo. No se aprecian manchas, ni fisuras o grietas, tan solo una fuerte erosión superficial, que deja a la vista los áridos de mayor tamaño y las fibras de paja que contiene el revoco de barro. La presencia de un alero y un zócalo con más altura, junto con un adecuado mantenimiento, podrían haber evitado tales lesiones.

IMÁGENES



nº 4**UBICACIÓN**

CL Plaza 24

AÑO

1900

SUP. CONST

63 m2

USO

Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Inmueble formado por dos módulos contiguos. El sistema que predomina es el adobe sobre zócalo de piedra, a excepción de la fachada este, conformada con tapia reforzada con machones de adobe. La fachada oeste está construida con una hoja de L.H.D. sobre zócalo de piedra. El estado de conservación es regular, debido a la falta de un mantenimiento periódico. Fue restaurado por la Dirección de Regiones Devastadas.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

Solo se conserva el revestimiento de barro bajo la zona que queda protegida por el alero de cubierta. El resto del paramento presenta una erosión importante debido a la ausencia de éste. El revestimiento de barro y paja, presenta indicios de que tras su aplicación fue blanqueado con cal. Los abombamientos en el revestimiento existente están muy presentes, con el posterior desprendimiento del soporte. También son numerosas las grietas y fisuras por una exposición excesiva al sol, sin ningún tipo de protección y renovación periódica.

IMÁGENES



nº 5

UBICACIÓN	AÑO	SUP. CONST	USO
CL Plaza 22-26-28	1900	114 m2	Industrial



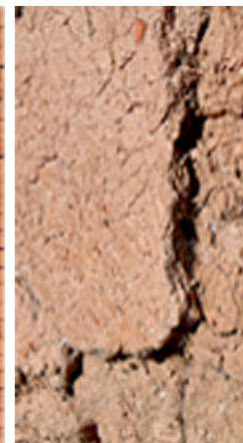
DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Consisten en 3 edificaciones contiguas utilizadas como pajar. Están construidas con adobe sobre zócalo de piedra. El estado de los muros exteriores es de ruina, pero la conservación de los muros interiores es bastante aceptable contando con las circunstancias externas. La carpintería es de madera. En algunas zonas de los muros aparecen hiladas de ladrillo cocido. Fueron restauradas por la Dir. de Regiones Devastadas.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

Se conserva parte del revoco de barro y paja exterior en la fachada este. Igualmente el estado de conservación es malo, importantes disgregaciones y desprendimientos del revestimiento, dejan sin protección a un muro que presenta una fuerte erosión. Además el revestimiento exterior que queda, presenta fisuras por retracción y como consecuencia de la pérdida de fibras, a causa de la erosión de la capa más superficial del revoco. El mortero de barro interior tiene un mejor estado de conservación, una textura uniforme, menos fisuras pero igualmente, una aguda erosión.

IMÁGENES



nº 6

UBICACIÓN	AÑO	SUP. CONST	USO
CL Plaza 25	1900	54 m2	Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Se trata de una edificación en planta rectangular construida con adobe sobre zócalo de piedra de 15 cm. de altura aproximadamente. Todas las fachadas se conservan bastante bien para no contar con apenas protección. Los cargaderos son de madera y la puerta es metálica. Fue gravemente dañada durante la Guerra Civil y se reconstruyó por la Dirección de Regiones Devastadas. El estado de conservación aceptable.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

Únicamente se mantiene el revestimiento protegido por el alero de cubierta en la fachada noroeste. Se trata de una franja de apenas 15 cm. de altura y el espesor no alcanza ni siquiera 1 cm. El revoco está conformado con barro y fibras de paja y se aprecia unos áridos de tamaño ligeramente superior a la media. El revestimiento que se conserva presenta una fuerte erosión y un importante abombamiento de la superficie, lo que anticipa un próximo desprendimiento del soporte. La falta de revisión y un nulo mantenimiento son factores que agravan la mala situación del revestimiento.

IMÁGENES



nº 7

UBICACIÓN	AÑO	SUP. CONST	USO
CL Plaza 13-15	1900	76 m2	Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Se trata de 2 edificaciones unidas para su uso como pajar. El sistema constructivo predominante es el de tapia reforzada con machones de adobe sobre un zócalo de piedra de 40 cm. de altura aprox. Los muros presentan una fuerte erosión superficial. La fachada sur está revestida por una hoja de L.H.D. Carpintería de madera menos la puerta de la fachada sur, metálica. Reconstruida por la Dir. de Regiones Devastadas.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

Apenas queda nada del revestimiento original de tierra. En la fachada oeste se puede apreciar algunas zonas dónde el revoco permanece sobre el soporte de tapia, y sobre el que se debió de aplicar otro mortero encima de cal. Debido a esto, los muros presentan grandes pérdidas de material por la fuerte erosión y la falta de una protección superficial. El hecho de que esta edificación esté destinada a servir de pajar, probablemente justifica el escaso mantenimiento del inmueble y por tanto la aceleración de patologías de este tipo.

IMÁGENES



nº 8**UBICACIÓN****AÑO****SUP. CONST****USO**

CL Plaza 12

--

25 m2

Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Es una edificación destinada a bodega, construida principalmente con tapia de tierra reforzada con machones de adobe sobre zócalo de piedra de 90 cm. de altura aproximadamente. La fachada sureste está revestida con piedra y verdugadas de ladrillo cocido, además de una zona revestida de mortero de cemento. Los cargaderos y la carpintería es de madera. El estado de conservación de la estructura es aceptable.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

En la fachada suroeste el revestimiento, a base de barro y paja, se conserva sólo en la mitad superior del muro. Concretamente en la zona bajo el alero de cubierta, es dónde mejor aspecto presenta. Se aprecia una destacable erosión superficial que deja a la vista las fibras de paja, así como numerosas fisuras superficiales y grietas. En la fachada noroeste el revestimiento únicamente se localiza en la zona protegida por el alero, y el estado de conservación de esta fachada es bastante peor que la anterior: erosión, desprendimientos, alabeos... Existe una falta de mantenimiento periódica.

IMÁGENES



nº 9**UBICACIÓN****AÑO****SUP. CONST****USO**

CL Plaza 3

--

210 m2

Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Es un inmueble poligonal de 5 lados con acceso a dos niveles de calle. Está conformado a base de ladrillos de adobe sobre zócalo de piedra de 30 cm. aprox en la fachada noreste y de más altura en la fachada sureste. El acceso se produce por dos puertas en la fachada noreste. Los muros exteriores se mantienen en pie aunque en condiciones bastante dudosas pero en interior está completamente en ruinas.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

El revestimiento a base de mortero de barro y paja sólo se conserva en la fachada sureste. Aunque se localiza a lo largo de todo el paramento, presenta importantes desprendimientos puntuales, que dejan vista la fábrica de adobe. Además, en la zona central de esta fachada, se observa una notable disgregación del mortero que ha provocado la desaparición prácticamente total del mismo en este área. El espesor del revoco no alcanza ni 1 cm. de grosor y esto es debido a la erosión de su superficie. La inexistente renovación y un nulo mantenimiento, son atenuantes de estas lesiones.

IMÁGENES



nº 10

UBICACIÓN	AÑO	SUP. CONST	USO
PZ Arcipreste 12	1900	927 m2	Residencial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Es una edificación con unas dimensiones importantes compuesta de áreas destinadas a vivienda y locales como almacén. En este caso se estudia uno de los locales como almacén de 38 m2. Éste está construido con adobe sobre un zócalo de 90 cm. de altura aprox. Cargaderos y carpintería de madera. En la fachada sureste la fábrica de tierra está revestida por un mortero de cemento. Se conserva bastante bien.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

Solo perdura el revestimiento de barro adicionado con fibras en la fachada este. Aunque se encuentra de forma homogénea a lo largo de todo el paramento (excepto en el zócalo y en una franja bajo el alero dónde el soporte está revestido con mortero de cemento), se observan grietas de importancia que están provocando algunos alabeos y desprendimientos del revoco. Además, la capa más superficial se encuentra también erosionada. Fisuras de carácter menor abundan a lo largo de toda la superficie del revestimiento. Un buen mantenimiento ayudaría en su conservación.

IMÁGENES



nº 11

UBICACIÓN	AÑO	SUP. CONST	USO
CL Sancho Martín 7	1998	23 m2	Industrial



DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Se trata de una edificación en planta rectangular construida a base de adobe sobre zócalo de piedra de aproximadamente 30 cm. de altura. Únicamente se observa la fábrica de tierra en la fachada este, ya que el resto se encuentran revestidas con mortero de cemento. Actualmente se utiliza como garaje de vivienda, y la puerta de acceso es metálica de tipo guillotina. El estado de conservación es bueno.

REVESTIMIENTO. PATOLOGÍAS: CAUSAS Y LESIONES

Solo se mantiene el revestimiento de barro sobre el soporte de la fachada este. Aún así, el estado de conservación es bastante malo, ya que los desprendimientos del mismo han provocado que solo una parte del paramento se encuentre protegido por el revoco de barro y paja. Se observa que en vez de renovar este revestimiento se ha optado por parches de mortero de cemento. El revestimiento que queda posee numerosas fisuras conectadas las unas a las otras y un espesor de unos pocos milímetros. Falta de mantenimiento.

IMÁGENES



Para la elaboración de estas fichas se han escogido 11 ejemplos de construcciones en Hita que emplean sistemas constructivos de tierra. Se ha considerado que es un número suficiente para clasificar el tipo de edificación más común, así como las patologías más frecuentes.

Como se extrae de este análisis, casi todas las edificaciones que mantienen los antiguos revestimientos de barro son inmuebles de carácter industrial. Únicamente se ha seleccionado aquellas que conservan la original protección de barro.

5.2_ ENSAYOS Y EXPERIMENTACIÓN

5.2.1_ PARÁMETROS A ESTUDIAR DE LOS MORTEROS COMO REVESTIMIENTO

La exitosa protección de un soporte de tierra a través de un revestimiento continuo no depende exclusivamente del material del revestimiento en sí, sino que es la suma de una serie de factores, por un lado el propio revestimiento y por el otro el soporte donde se aplica, que da como resultado una mejor o peor conexión entre ambos. Así pues, dependerá de:

- La mezcla. Si el revestimiento se realiza “in situ” deben de controlarse variables como:
 - El contenido de agua. Éste deberá ser tal que permita su fácil trabajabilidad pero sin excederse para que no se produzcan demasiadas fisuras posteriores por retracción durante el secado.
 - El porcentaje de cada uno de los componentes de la tierra: grava, arena, limos y arcilla. Una mezcla con demasiada poca arcilla no obtendrá una buena cohesión final y se desmoronará, mientras que una mezcla con insuficiente arena será poco porosa y más vulnerable a la acción del agua.
 - El contenido, ya sea en peso o en volumen, de adiciones como estabilizantes, consolidantes... que mejoren las prestaciones iniciales del revestimiento, por ejemplo, las fibras para disminuir la retracción de mortero.
 - La homogeneización de todos los componentes de la mezcla, pues de ello dependerá que el resultado sea el mismo en todo el paramento.
- El soporte. Es necesario partir con unas premisas iniciales de buenas prácticas para que la adherencia soporte-revestimiento sea la correcta, traducándose a la larga en una mayor durabilidad del conjunto.

- Planeidad. Es recomendable que se consiga la mayor planeidad posible del soporte para que los posteriores espesores del revestimiento a lo largo de toda la cara del muro sean similares, comprobando, que no se superan los límites recomendados para cada capa en morteros de barro.
- Verticalidad. Este tipo de defecto debe corregirse para evitar que ciertas partes del revestimiento queden más expuestas que otras a los agentes causantes de posibles patologías.
- Rugosidad. Si el soporte no tiene una rugosidad suficiente, el revestimiento presentará una adhesión inferior, tal es el caso de la tapia o BTC. Para escasas rugosidades se recomienda acudir a diversas actuaciones como el picado de la fábrica, la inserción de elementos que mejoren la unión (como ladrillos en las tapias)...
- Estabilidad. El soporte debe de haber experimentado todas las retracciones posibles por secado. Por tanto, no se aconseja una aplicación del revestimiento antes de que el soporte haya efectuado todas las variaciones de volumen oportunas, ya que en caso contrario, es probable que se generen mayores fisuraciones.
- Humedad. Previa a la aplicación del mortero, es recomendable comprobar si el soporte está muy seco. En tales casos, y al tratarse de muros de tierra, es mejor que éstos se humedezcan para que no absorban el agua de amasado del revestimiento, evitando por tanto un secado rápido del mortero y una excesiva retracción.
- La climatología. Ésta tiene un papel muy importante ya que si el revestimiento se aplica con condiciones atmosféricas y medioambientales adversas, el resultado puede no ser el deseado. Por tanto se recomienda aplazar la aplicación en días con temperaturas muy bajas o muy altas (lo más recomendable son las estaciones de otoño y primavera), de lluvia, de granizo o de fuerte viento.
- La ejecución en obra del revestimiento.

Como ya se ha comentado, las principales funciones del revestimiento son:

- Mejorar la durabilidad del soporte garantizando sus condiciones higrotérmicas, y éstas consisten en impermeabilidad al agua y permeabilidad al vapor de agua.
- Otorgar al soporte unas características estéticas finales determinadas.

5.2.1.1_ Durabilidad e impermeabilidad

Un revestimiento es duradero cuando es capaz de resistir los ataques de factores que lo hacen más vulnerable, tales como la acción del agua o la erosión superficial. Principalmente, los revestimientos con tierra sufren patologías asociadas a las pésimas consecuencias de un contacto prolongado entre el agua y el barro. Alcanzar un aceptable grado de impermeabilidad dependerá de: el grado de fisuración que presenta el revestimiento, la capacidad que tenga de respirar (impermeabilidad al agua y permeabilidad al vapor de agua) y la mayor o menor adherencia entre el muro y el revestimiento.

Grado de fisuración

Encontrarse un mortero con más o menos grietas dependerá de: la retracción que haya experimentado; el Módulo de Young del material y de la resistencia a la tracción del la mezcla.

Los morteros de barro, al contener un porcentaje importante de arcilla, experimentan notables variaciones de volumen en la fase de secado. Esto conlleva, sobre todo en morteros sin estabilizar, a que aparezca una serie de grietas como consecuencia de las tensiones internas generadas, así como por los cambios de volumen experimentados. Para disminuir los efectos de la retracción se puede acudir a procesos homogéneos (mediante la modificación de la granulometría de la tierra, es decir, variando el porcentaje de cada componente: añadiendo más arena); o a procesos heterogéneos (añadiendo estabilizantes, consolidantes, hidrofugantes...).

El Módulo de Young o de elasticidad, es un valor que hace referencia a la capacidad de un material para deformarse elásticamente. Cuanta más deformación experimente, más bajo será el módulo de elasticidad y por tanto más elástico será. No hay ningún material que sea completamente rígido, pero el barro, suele presentar una rotura de tipo frágil, por lo que la adicción de fibras normalmente tiene a mejorar esta situación y otorgarle mayor flexibilidad.

La resistencia a tracción, está relacionada con la cohesión interna del material.

Transpirabilidad del revestimiento

No hay ningún revestimiento totalmente estanco. Los revestimientos de barro son especialmente susceptibles a la acción del agua. Si el contenido absorbido no es excesivo no hay problema, puesto que poco a poco el revestimiento la va eliminando

al medio por secado. La cantidad de agua absorbida sin ejercer ningún tipo de presión está relacionada con la capilaridad. Es recomendable obtener bajos valores de capilaridad para asegurarse de que el revestimiento no va a sufrir graves daños.

Además de la absorción del agua por capilaridad, si el revestimiento está muy fisurado penetrará gran cantidad de agua a través de las grietas, comprometiendo la estabilidad del revestimiento y también la del soporte.

En cambio, mientras que a un revestimiento se le exige impermeabilidad al paso del agua, se necesita que sea permeable a la difusión de vapor. Lo bueno de los revestimientos con barro, al contrario de los revestimientos con cemento por ejemplo, es que dejan respirar al muro y no se crean condensaciones internas.

Nivel de adherencia

La buena conexión entre el soporte y el revestimiento es un factor clave a la hora de garantizar la durabilidad del paramento. La adherencia está relacionada con los ensayos de tracción perpendicular.

Normalmente, un revestimiento se adhiere bien al soporte si ambos presentan rigideces similares, es decir, si tienen la misma capacidad de deformación. Por tanto, para soportes de tierra lo más conveniente son revestimientos con morteros de barro, ya bien con su composición original, ya bien con elementos que mejoren sus prestaciones.

Una buena adherencia garantiza un trabajo conjunto entre el muro y el revestimiento, lo que se traduce en una menor generación de tensiones internas frente a cualquier esfuerzo y por tanto la aparición de menos grietas, lo que a su vez mejora la impermeabilidad del revestimiento.

5.2.1.2_ Características estéticas finales

En algunos casos, además de exigirle protección al revestimiento, se desea que éste vaya más allá y que además otorgue al muro unas características estéticas determinadas: una tonalidad determinada (lo que se consigue por ejemplo añadiendo óxidos); una rugosidad específica; una ausencia de manchas por humedad que alteren su homogeneidad inicial...

5.2.2_ MATERIALES

A la hora de escoger los materiales para la realización de los ensayos, se ha tenido en cuenta dos factores fundamentales:

- Que todos fueran sencillos de conseguir, por proximidad geográfica y por el bajo coste económico que suponen.
- Que fueran biodegradables y que supusieran un bajo impacto medioambiental.

El barro ha sido extraído del municipio de Hita, a 28 kilómetros de Guadalajara. La decisión de trabajar con tierra de esta zona vino influenciada, además de por motivos personales, por los buenos resultados de las piezas y muros ya construidos con estas tierras, corroborados por expertos en la materia y también por los lugareños. Todavía hoy en día quedan numerosas edificaciones con tierra, que si no hubiera sido por la guerra, se mantendría en mejores condiciones.

Para comprobar el comportamiento de los morteros de barro estabilizando con fibras, se ha empleado tres tipos de muy fácil acceso: paja, facilitada por la gente del pueblo y resultante de la cosecha de la cebada en sus campos; esparto, conseguido en un almacén de materiales y abundante también en la zona; sisal, obtenida a través de unos grandes almacenes dedicados al bricolaje.

5.2.2.1_ Tierra

En términos generales la tierra se compone de diferentes porciones de grava, arena, limo y arcilla. En términos más específicos, la definición de suelos es el *“conjunto de partículas minerales o de material orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, a veces de origen orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire”*⁷.

Para obtener una identificación y clasificación más exacta de los suelos se puede acudir a ensayos de laboratorio, como los de análisis granulométrico, plasticidad o contenido de material orgánica.

Atendiendo al tamaño de partículas, los suelos se clasifican de la siguiente manera:

⁷ UNE-EN ISO 14688-1. Ingeniería geológica. Identificación y clasificación de suelos. Parte 1: Identificación y descripción.

Fracciones de suelo	Subdivisiones	Símbolos	Tamaños de partículas mm
Suelos muy gruesos	Grandes piedras	LBo	> 630
	Piedras	Bo	> 200 a 630
	Guijarros	Co	> 63 a 200
Suelos gruesos	Grava	Gr	> 2,0 a 63
	Grava gruesa	CGr	> 20 a 63
	Grava media	MGr	> 6,3 a 20
	Grava fina	FGr	> 2,0 a 6,3
	Arena	Sa	> 0,063 a 2,0
	Arena gruesa	CSa	> 0,63 a 2,0
	Arena media	MSa	> 0,2 a 6,3
	Arena fina	FSa	> 0,063 a 0,2
Suelos finos	Limos	Si	> 0,002 a 0,063
	Limos gruesos	CSi	> 0,02 a 0,063
	Limos medios	MSi	> 0,006 a 0,02
	Limos finos	FSi	> 0,002 a 0,006 3
	Arcillas	CI	≤ 0,002

Fig. 33. Clasificación de suelos según el tamaño de sus partículas. UNE-EN ISO 14688-1.

Simplificando el contenido de la Fig. 33., las porciones son:

- Grava. Son las partículas con un tamaño superior a los 2 mm. Los granos son observables con un simple vistazo y no retienen agua por la falta de actividad de su superficie y el elevado número de huecos que existe entre las partículas.
- Arena. Son las partículas comprendidas entre 2 – 0,063 mm. Al igual que las gravas, todavía se pueden diferenciar. En contacto con agua no forman agregados, sino que se separan de ella con facilidad.
- Limo. Son las partículas comprendidas entre 0,063 – 0,002 mm. Al contactar con el agua se forma una pasta, pero si ésta se hace una bola y se aplasta, el agua se exuda fácilmente.
- Arcilla. Son las partículas inferiores a 0,002 m. Su origen está ligado a transformaciones químicas. Están formados principalmente por silicoaluminatos hidratados, unidos por enlaces covalentes débiles que permiten que entren moléculas de agua en las cadenas con el consecuente cambio de volumen. Tiene una gran capacidad de retención de agua.

La mayoría de los suelos son compuestos, es decir, cuentan con una fracción principal y una secundaria. La fracción principal, que es la de mayor masa, es la que determina las propiedades geotécnicas del suelo. En el caso de suelos finos compuestos, la fracción de finos determina las características geotécnicas. La fracción secundaria, si bien no es determinante, si que puede afectar a las propiedades de dicho suelo.

Cuando se trata de suelos cohesivos como son las arcillas, se puede determinar la consistencia estudiando su plasticidad, conociendo de esta manera si un suelo fino se comporta como limo o como arcilla.

Todos y cada uno de los componentes tienen una función importante dentro de la tierra, pero es destacable la fracción correspondiente a la arena y más aún a la arcilla. La arena es la encargada de proporcionar a la mezcla estabilidad, resistencia a las heladas y a los cambios de temperatura. Constituye el esqueleto de la tierra, pero sin una cantidad adecuada de arcilla, será fácilmente erosionable.

La arcilla tiene un rol importantísimo porque funciona como aglomerante, liga todos los componentes para que se trabaje de forma conjunta. Hay que apuntar que no todas las arcillas se comportan igual y tienen la misma afinidad al agua. Así por ejemplo, se recomienda evitar las arcillas expansivas (montmorillonitas, nontronitas y saponitas...), porque tienen la particularidad de permitir la entrada de mucha agua entre las láminas de su estructura, con lo que manifiestan potentes procesos de hinchamiento que suelen tener efectos muy nocivos en la construcción. Generalmente, es el contenido de arcillas el que determina el comportamiento de la mezcla.

5.2.2.2_ Fibras naturales

Las fibras naturales son materiales lignocelulósicos que se encuentran distribuidos en forma de árboles, plantas y cultivos. Dependiendo de su origen se pueden clasificar de la siguiente manera:

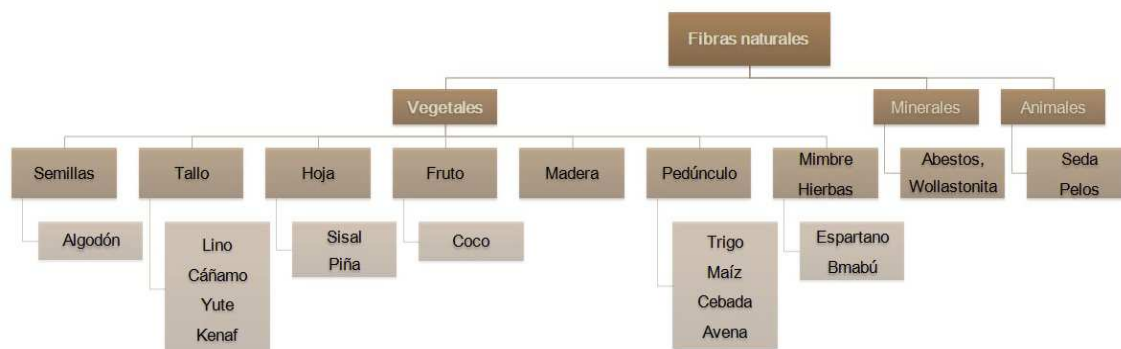


Fig. 34. Clasificación de fibras de origen natural.

En este trabajo, únicamente se van a estudiar las de origen vegetal. Estas fibras están compuestas mayoritariamente por tres polímeros estructurales: celulosa, hemicelulosa y lignina. El porcentaje de estos en la fibra, viene dado por el tipo de planta y la edad de la especie.

Respecto a su organización estructural, las fibras son paquetes de células de paredes gruesas y alargadas, compuestas de microfibras más pequeñas y huecas, que se adhieren a una matriz de hemicelulosa/lignina. Comprenden diversas microestructuras dispuestas en forma de anillos microscópicos organizados en torno al lumen.

La pared celular de la fibra vegetal se compone de una pared primaria (P) y una pared secundaria (S). La pared primaria se forma durante el crecimiento de la célula. Las paredes primarias de dos células adyacentes están unidas entre sí por lignina, denominándose esta capa, lámina media (ML).

La pared celular secundaria, consta a su vez de tres capas (S1, S2 y S3), estas capas están formadas por fibrillas de celulosa semicristalinas orientadas e introducidas en la matriz de hemicelulosa/ lignina de composición variable. En la capa exterior e interior (S1 y S3) de la pared secundaria, las fibrillas están dispuestas formando un amplio ángulo con el eje de la célula, mientras que la disposición de las fibrillas en la capa intermedia gruesa (S2) es prácticamente paralela al eje (Mariana Torró, R.)

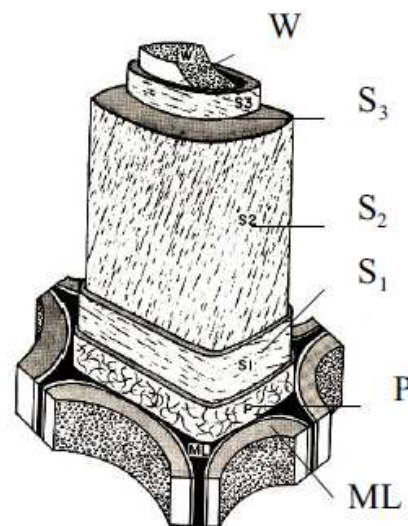


Fig. 35. Capas de la pared celular de la fibra.

La composición química de las fibras va a determinar propiedades como la tensión o el Módulo de Young, los que aumentan a medida que el contenido de celulosa es mayor:

- La celulosa es el componente predominante en las fibras. Consiste en un polímero lineal, formado por monómeros de glucosa (β -glucopiranososa). Las moléculas de celulosa se unen entre sí a través de puentes de hidrógeno formando microfibrillas. Confiere resistencia mecánica a la fibra.
- Las hemicelulosas, son polímeros formados por monosacáridos (pentosas y hexosas) y ácidos urónicos. Son moléculas ramificadas y de menor longitud que las de celulosa. Su grado de polimerización es de 10 a 100 veces menor que el de la celulosa. La hemicelulosa actúa como matriz soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, encontrando algunas

hemicelulosas asociadas a la porción celulósica y otras asociadas a la lignina. Regularn la humedad y dan flexibilidad a la fibra.

- Las ligninas son polímeros en red formados por unidades de fenilpropano, amorfos, hidrofóbicos y termoplásticos. Mantienen las fibras unidas y regulan el contenido de humedad. Aportan rigidez a las plantas.

El uso de las fibras naturales en construcción como alternativa a las sintéticas está aumentando notablemente en los últimos tiempos, debido a las múltiples ventajas que éstas presentan:

- La gran producción neta anual.
- El posible aprovechamiento de residuos generados en la cosecha de cultivos como el trigo, la cebada... que de otra manera son excedentes a los que no se les da salida.
- La escasa energía que se necesita para su producción: las fibras naturales necesita menos del 10% de la energía empleada para la producción de fibras de polipropileno, en torno a 90 GJ/t, (J. E.G. van Dam y H. L. Bos).
- El escaso impacto medioambiental que suponen: son biodegradables.
- El bajo coste económico de su obtención.

También presentan una serie de inconvenientes como pueden ser que ofrecen resistencias, por lo general, ligeramente inferiores a las sintéticas, que no todas presentan propiedades homogéneas y que su utilización está ligada habitualmente a su lugar de producción.

En el presente trabajo, la incorporación de fibras a la matriz del mortero, está justificada porque según los numerosos estudios en el tema (M. A. Rodríguez y B. Saroza), las fibras:

- Disminuyen la retracción del mortero durante el secado, repartiendo la tensión resultante durante dicho proceso en toda la masa del material.
- Aceleran el secado al facilitar el drenaje hacía el exterior por los canales de la fibra.
- Aligeran el material.
- Aumentan ligeramente la resistencia a tracción.

El porcentaje de éstas, en peso o en volumen, como adición del barro o de otro tipo de mortero, no está totalmente claro, variando de manera significativa de un autor a otro. Así por ejemplo se han encontrado diversas referencias respecto a este tema:

- Proporción del 20% en volumen para el adobe (R. Morales; R. Torres; L.A. Rengifo; C. Irala).
- Proporción del 2% en peso para revestimientos de barro (adobe) (R. Morales; R. Torres; L.A. Rengifo; C. Irala).
- Relaciones volumétricas del 25 – 50 – 100% en volumen. Aclarando que no se recomienda proporciones superiores del 25% como resultado de una serie de ensayos (M. A. Rodríguez; B. Saroza).
- Porcentaje máximo de la fibra en peso recomendado: 2,5% (I. de Oteiza San José).
- 1/3 de fibra, paja (L.G. Barrios).

En este trabajo se ha buscado determinar el comportamiento de los morteros de barro sin adición de fibras y de los morteros de barro con adición, para ver en tanto en cuanto, se modifican las propiedades del mismo con unos porcentajes del: 3% y 4% en peso de la tierra seca.

También, según la literatura, la longitud de las fibras es un factor muy determinante en la obtención de buenos resultados finales. Tras comparar las conclusiones de varios de los trabajos anteriormente documentados, se ha escogido una longitud en todos los casos de 40 mm.

5.2.2.2.1_ Paja

La paja es un subproducto agrícola y se corresponde con el tallo seco de plantas de cereales como el trigo, la cebada, el centeno y otras especies menos extendidas. Constituye aproximadamente la mitad del rendimiento del cultivo. En España se producen grandes cantidades de cereal que generan por tanto, importantes cantidades de paja. Tiene numerosos usos, entre los que se incluyen: ropa de cama de ganado, combustible, forraje y cestería. Por lo general se recopila y se almacena en fardos, que es un haz de paja fuertemente unido con una cuerda o alambre. Los fardos pueden ser cuadrados, rectangulares o redondos, según el tipo de empacadora utilizado. Es un material biodegradable, reutilizable y reciclable.



Fig. 36. Fardos de paja.

Fig. 37. Paja utilizada en este trabajo.
Longitud de las fibras 40 mm.

Cultivos	Producción (toneladas)		
	Grano	Bio-combustible	Paja cosechada
CEREALES DE INVIERNO			
Trigo total	4.804.772	23.405	2.217.477
Cebada total	7.295.934	30.590	3.471.565
Avena	923.946	11.892	491.446
Centeno	180.666	–	90.026
Escaña	–	–	–
Triticale	40.317	–	27.313
Tranquillón	21.285	–	10.225
Otras mezclas de cereales de invierno	138.491	25	82.596
TOTAL CEREALES DE INVIERNO	13.405.411	65.912	6.390.648
CEREALES DE PRIMAVERA			
Arroz (cáscara)	913.754	–	–
Maíz total	3.515.617	–	–
Sorgo	32.782	–	–
Mijo	1.248	–	–
Alforfón o trigo sarraceno	1	–	–
Alpiste	15	–	–
Panizo	–	–	–
TOTAL CEREALES DE PRIMAVERA	4.463.417	–	–
OTROS CEREALES	15.391	–	–
TOTAL CEREALES	17.884.219	65.912	6.390.648

Fig. 38. Producción de paja en 2009. Fuente: www.magrama.gob.es.

5.2.2.2.2_ Esparto

El esparto o atocha (*Stipa tenacissima* L.) constituye una de las formaciones vegetales más características de las zonas semiáridas de la Península Ibérica y del norte de África. Es una gramínea perenne con forma de mata, compuesta por un conjunto de macollas de crecimiento radial.

Su capacidad de adaptación al medio le ha permitido expandirse con éxito por los adversos ambientes semiáridos mediterráneos. Se distribuyen de manera natural por: Libia, Túnez, Argelia y Marruecos; y la Península Ibérica. Suele desarrollarse en suelos pobres, pedregosos, limosos, calizos, yesosos o arcillosos desde el nivel del mar hasta altitudes de más de 2.000 m.



Fig. 39. Esparto.



Fig. 40. Esparto utilizado en este trabajo. Longitud de las fibras 40 mm.

La recolección de la fibra se mantuvo hasta mitad del siglo XX. Esta actividad aumentó de manera significativa en el siglo XIX, debido a las abundantes cantidades de pasta de papel que se fabricaban. Debido a sus usos, el ser humano ha promovido la expansión del esparto e incluso lo ha cultivado estimulando su crecimiento. El traslado de las gentes del campo a la ciudad, principalmente a partir de la década de los setenta, junto con la aparición de las fibras sintéticas, provocó que la superficie de los espartizales y su producción disminuyeran de manera drástica.



Fig. 41. Distribución geográfica del crecimiento de esparto en España. Nota: No hay datos de producción de esparto en 2009.

5.2.2.2.3_ Sisal

El sisal (*Agave sisalana*), es una planta, gramínea originaria de México, y su nombre proviene del puerto de Yucatán, Sisal, de dónde se exportó al mundo. Vulgarmente también se la conoce como pita.

Suele florecer exclusivamente una vez en la vida, entre los 10 y los 25 años de edad. Antes de que esto ocurra, desarrolla un gran tallo que crece muy rápido, alcanzando incluso unos 12 m. de altura. Sus flores son de color verde y de tamaño considerable. Algunos de los agaves mueren tras la floración aunque sus rizomas pueden dar lugar a nuevas plantas. La planta puede crecer también a partir de semillas, bulbos o raíces

subterráneas. Las hojas del agave son grandes, gruesas y carnosas, y pueden almacenar cantidades considerables de agua. Son perennes, presentan espinas marginales y crecen hasta 2 m. de altura, formando racimos en la base de la planta.

Las fibras, de más de 1,50 m., obtenidas de sus hojas, se emplean para cordeles, sogas, sacos... y actualmente también en construcción, pues se las compara con las fibras de polipropileno.



Fig. 42. Agave sisalana.



Fig. 43. Sisal utilizada en este trabajo. Longitud de las fibras 40 mm.

Crece en climas secos con una temperatura que oscila en torno a los 20°C. Es más habitual encontrarlas en suelos volcánicos, arcillosos, permeables y abundantes en elementos derivados del basalto y riqueza en hierro.

La industria del sisal se concentra en las regiones tropicales de África, Centro y Sudamérica, así como en Asia pero normalmente se transportan las fibras en bruto a países de Europa, Norteamérica, Japón, Australia y Nueva Zelanda, para su transformación y posterior exportación como productos finales.

En España también se cultiva en las regiones del sur y en las Islas Canarias, aunque su producción es mínima comparada con otro tipo de cultivos.

Provincias y Com. Autónomas	Superficie en plantación regular (hectáreas)					Árboles disemina dos	Rendimiento			Producción (toneladas)		
	Total		En producción				Sup en producción (kg/ha)		Arboles diseminados (kg/árbol)	En palntación regular	Árboles diseminados	Producción Total
	Secano	Regadío	Total	Secano	Regadío		Secano	Regadío				
Córdoba	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
ANDALUCÍA	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
Las Palmas	1	-	1	-	-	2.500	5.000	-	3	-	8	8
CANARIAS	1	-	1	-	-	2.500	-	-	3	-	8	8
ESPAÑA	1	-	1	-	-	2.505	-	-	3	-	8	8

Fig. 44. Producción de sisal en 2009. Fuente: www.magrama.gob.es.

5.2.3_ PLAN DE ENSAYOS, UBICACIÓN Y NORMATIVA

En este trabajo se ha partido con unos ensayos para la identificación de las diferentes tierras extraídas, en función de cuyos resultados se ha seleccionado una única tierra sobre la cual se realizarían los oportunos estudios mediante la adición de los distintos tipos de fibras. Éstos han consistido en:

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- Determinación del límite líquido. Método de Casagrande.
- Determinación del límite plástico.

Estas pruebas se han considerado suficientes para establecer el comportamiento de los suelos, seleccionando aquél que resultaba más idóneo para los trabajos a realizar.

Respecto a los diferentes ensayos llevados a cabo en los morteros para cumplir con los objetivos establecidos, se han escogido los siguientes por considerarse suficientes y definitorios de los parámetros anteriormente descritos que definen la calidad de un revestimiento de barro (siempre es posible aumentar el número de ensayos para llegar a resultados más precisos).

Además se ha tomado como guía la tabla 2 de la norma UNE-EN 998-1, Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: morteros para revoco y enlucido, donde se exponen los requisitos mínimos para los morteros endurecidos. En esta norma, al igual que en las otras utilizadas, no se contempla el uso de morteros de tierra en construcción pero ha servido para dar unas pautas sobre los diferentes ensayos a los que pueden someterse los morteros para revestimientos de tierra (teniendo siempre presente ciertas limitaciones de ésta).

- Determinación del contenido de humedad.
- Ensayo de retracción.
- Ensayo de comportamiento frente al agua.
 - Ensayo por goteo.
 - Ensayo de absorción de agua por capilaridad.
 - Ensayo de intemperismo.
- Ensayos de resistencia mecánica.
 - Ensayos de flexión.
 - Ensayos de compresión.

Debido a que el tratamiento de la tierra como material de construcción no puede ser el mismo que el de otros materiales como por ejemplo la escayola, la cal, el cemento... los ensayos realizados, aunque han intentado seguir lo establecido en las normas sobre morteros, han tenido que adaptarse a esta situación.

Todos los ensayos de campo para la selección de tierras, se han realizado en el mismo municipio de Hita, una vez recién extraídas las muestras para evitar que las condiciones originales de los suelos variaran. Son ensayos de carácter básico que han servido para tomar contacto con el tipo de tierra con el que se trabajaría más adelante.

Los ensayos de laboratorio se han realizado en la Escuela de Arquitectura Técnica de la Universidad de Alcalá de Henares, en el campus de Guadalajara, en los laboratorios del Departamento de Geotecnia y Materiales y en colaboración con varios profesores especializados en la materia.

En cuanto a la normativa empleada, expresar que en España no hay ninguna norma que haga referencia a la construcción con tierra a excepción de la UNE 41410:2008, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Por tanto, se ha empleado normativa referente a morteros para revestimiento y albañilería de carácter general, además de la misma norma del BTC para diseñar los ensayos oportunos.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE SUELOS

- UNE-EN ISO 14688 – 1: 2003. Identificación y clasificación de suelos. Parte 1: Identificación y descripción.
- UNE-EN ISO 14688 – 2: 2006. Identificación y clasificación de suelos. Parte 2: Principios de clasificación.
- UNE 103100:1995. Preparación de muestras para ensayos de suelos.
- UNE 103101:1995. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- UNE 103103:1994. Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
- UNE 103104:1993. Determinación del límite plástico de un suelo.

ESPECIFICACIONES DE MORTEROS

- UNE – EN 998 – 1: 2010. Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido.
- UNE - EN 998 - 2: 2012. Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.

NORMAS DE ENSAYOS DE MORTEROS

- UNE-EN-1015-1: 1999. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado).
- UNE-EN-1015-2: 1999. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo.
- UNE-EN-1015-10: 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.
- UNE-EN-1015-11: 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.
- UNE-EN-1015-12: 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes.
- UNE-EN-1015-18: 2003. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad de los morteros endurecidos.
- UNE-EN-1015-19: 1999. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros endurecidos de revoco y enlucido.

NORMAS DE ENSAYOS PARA FÁBRICAS

- UNE 41410:2008, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques.

5.2.4_ ENSAYOS EN SUELOS

5.2.4.1_ Toma de muestras

Es recomendable hacer la extracción con una cota de aproximadamente -0,60 m. aunque no siempre es necesario. La recogida se llevó a cabo de tal forma que la muestra no contuviera raíces ni ningún otro tipo de materia orgánica, residuos, piedras o bolos con diámetros superiores a 50 mm.

Las muestras se tomaron de diferentes lugares dentro del municipio de Hita, y los datos de cada una se corresponden con:



MUESTRA 1		
UBICACIÓN	FOTOGRAFÍA	PROFUNDIDAD MÍNIMA (m.)
		0,70
		PROFUNDIDAD MÁXIMA (m.)
		0,85
		PROFUNDIDAD MEDIA (m.)
		0,78
MUESTRA 2		
UBICACIÓN	FOTOGRAFÍA	PROFUNDIDAD MÍNIMA (m.)
		0,10
		PROFUNDIDAD MÁXIMA (m.)
		0,20
		PROFUNDIDAD MEDIA (m.)
		0,15
MUESTRA 3		
UBICACIÓN	FOTOGRAFÍA	PROFUNDIDAD MÍNIMA (m.)
		0,15
		PROFUNDIDAD MÁXIMA (m.)
		0,20
		PROFUNDIDAD MEDIA (m.)
		0,18

Fig. 45. Muestras de tierra extraídas en Hita, Guadalajara.

Los utensilios empleados para la extracción de las tierras fueron simplemente, una azadilla, una pala y una criba.

Una vez obtenidas, se introdujeron en bolsas completamente herméticas para evitar la variación de humedad natural del terreno. Parte de esas tierras se utilizaron para la realización de ensayos in situ (de campo) y parte para la realización de ensayos en

laboratorio, por tanto esas muestras tuvieron que permanecer inalteradas hasta el momento de uso.

5.2.4.2_ Ensayos de campo

5.2.4.2.1_ Ensayo del olor

Se trata de un ensayo muy sencillo que consiste en identificar a través del olor la existencia o no de materia orgánica en la tierra. Para ello hay que tomar un poco de material en estado húmedo y olerlo simplemente. Existirá materia orgánica si la tierra tiene cierto olor a moho.

En ningún caso las muestras presentaban olor a moho y estaban todas ellas libres de materia orgánica.

5.2.4.2.2_ Ensayo de la mordedura

Con esta prueba se pretendía determinar la existencia o no de arenas y limos mediante el rechino del material entre los dientes. Es necesario que se tome un trozo de la muestra para aplastarla con los dientes. Si rechina mucho se tratará de un suelo arenoso, si rechina ligeramente y la textura no es del todo desagradable será un suelo limoso y si no rechina se corresponderá con un suelo arcilloso.

La muestra 1 apenas chirriaba entre los dientes y la que más lo hacía era la muestra 2, estando la muestra 3 en una situación intermedia, aunque sin mucha diferencia con la muestra 2.

5.2.4.2.3_ Ensayo del color

Al igual que las anteriores se trata de una prueba sensorial para distinguir entre los diferentes suelos en función del color que presentan. Es conveniente realizar este ensayo con la muestra seca, pues en estado humedecido puede dar lugar a confusiones. De forma general, los colores claros y brillantes corresponden a suelos inorgánicos mientras que los colores oscuros (marrones – verdes), son más propios de los suelos orgánicos.

Este ensayo se realizó con la humedad natural del terreno, pero al estar bastantes secas no dio lugar a confusión. Todas las muestras presentaban colores terrosos, indicando que se trataban de suelos inorgánicos.



Fig. 46. Preparación de muestras para la realización del ensayo del color.

5.2.4.2.4_ Ensayo del tacto

Con este ensayo se pone de manifiesto la existencia de partículas de diferente tamaño a través del tacto. Es necesario tomar un poco de tierra de la muestra en la palma de la mano. Utilizando el dedo pulgar de la otra se aplasta esa tierra, asociando las partículas con mayor tamaño, a una mayor rugosidad y las de menor, a una menor rugosidad.

Al tocar la tierra se apreciaba un mayor contenido de gruesos en la muestra 2 aunque tampoco era muy significativo y diferente de la muestra 3. La muestra 1 era la menos rugosa.

5.2.4.2.5_ Ensayo del brillo

Se realiza para detectar la presencia de arcilla entre los componentes de la tierra. Se toma un poco de material y se desmorona con ayuda de una maza. Posteriormente se añade una cantidad de agua tal que se pueda formar una bola del tamaño de la mano aproximadamente. Esa bola se corta por la mitad con un cuchillo y se observan las superficies recién cortadas. Una superficie brillante se corresponderá con una gran presencia de arcillas, un poco brillante con un predominio de arenas y un brillo intermedio con una mayor presencia de limos.

La muestra 1 presenta un brillo ligeramente superior a las muestras 2 y 3, con cortes muy similares.



Fig. 47. Ensayo del brillo.

5.2.4.2.6_ Ensayo de sedimentación

Esta prueba da a conocer de una manera más clara la presencia de los distintos componentes en la muestra extraída. Para ello es necesario tomar una porción de la tierra, la que será molida con una maza. Esta tierra se verterá en una botella que contendrá agua y sal para acelerar la sedimentación (una cucharada aproximadamente), se agitará todo vigorosamente y se dejará reposar hasta que la tierra se haya sedimentado. Para extraer los resultados hay que tener en cuenta que las arenas, al poseer más masa, son las que se depositan antes, luego los limos y por último las arcillas.

Como se observa en la Fig. 48., tras la sedimentación se aprecia en la muestra 1 una granulometría muy uniforme, formada casi toda ella por una elevado porcentaje de finos. En la muestra 2 se observan granos con tamaños diferentes, distinguibles a simple vista. La muestra 3 se presenta con una granulometría bastante homogénea, pero con más cantidad de granos gruesos depositados en la base que la muestra 1.



Fig. 48. Ensayo de sedimentación.

5.2.4.2.7_ Ensayo de la cintilla

Con este ensayo se determina cuan plástico es un suelo, y por tanto cual es el predominio de cada uno de los componentes. Primeramente se muele un poco de material. A éste se le añade una cantidad de agua determinada que permita su trabajabilidad. Se elabora una bola que se convertirá a continuación en una cinta de unos 20 cm. de longitud y de 1,50 cm. de diámetro, aproximadamente. Se alza la cinta y se sujeta con la mano en vertical para que la gravedad actúe rompiéndola a una determinada longitud. Si la cinta se rompe a una longitud mayor a 15 cm. el suelo será arcilloso, si se rompe entre 5 y 15 cm. será limoso y si la longitud es menor a 5 cm. será arenoso.

Tanto en la muestra 1 como en la muestra 3, la cintilla se rompió con una longitud mayor de 15 cm. lo que hace presuponer que el contenido de arcillas es elevado. En el

caso de la muestra dos, la cintilla se rompió a 14 cm. aproximadamente, por lo que contendrá un porcentaje de finos y de arena en cantidades similares.

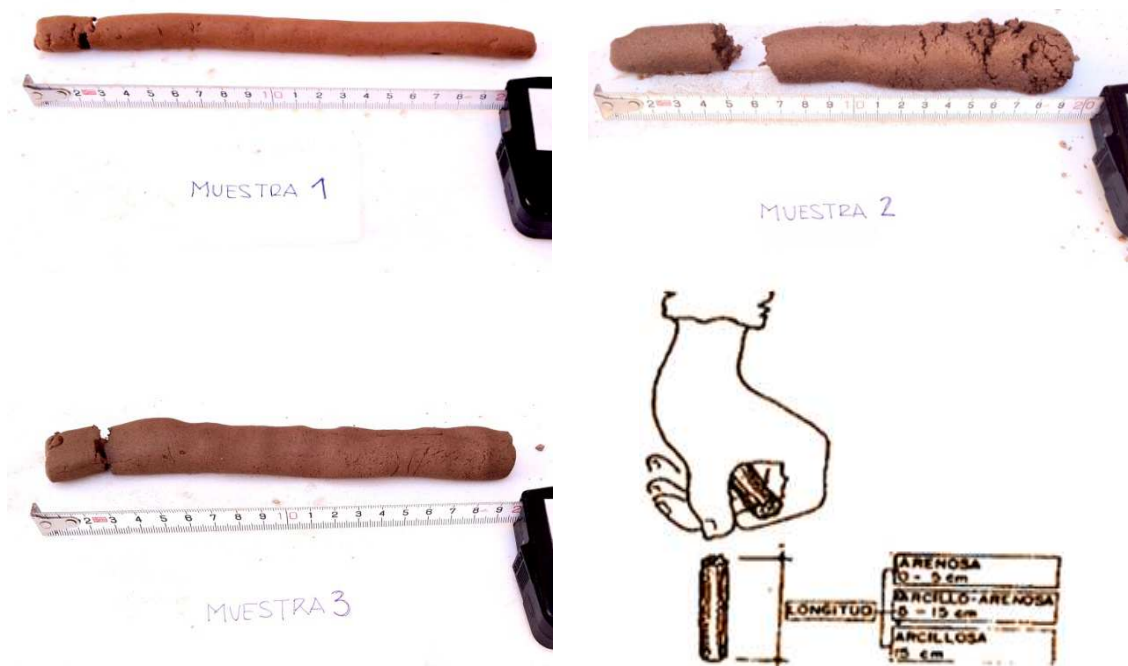


Fig. 49. Ensayo de la cintilla.

5.2.4.2.8_ Ensayo de la caída de la bola

De esta manera se puede determinar a grosso modo el contenido óptimo de humedad. Se muele parte de la muestra y se mezcla con agua para hacer una bola de 5 cm. aproximadamente. Esta bola se deja caer al suelo con el brazo extendido, a una distancia aproximada de 1,20 m. Si la bola se desmorona en trozos pequeños, estará a falta de agua; si no se desmorona tendrá demasiada agua mientras que si lo hace en trozos grandes, se habrá dado con el contenido óptimo de humedad. Esta prueba se hace para especificar el agua en la elaboración de adobes, en los morteros para revestimientos, el contenido de humedad siempre suele ser ligeramente superior.

En el caso de este trabajo, este ensayo se utilizó para determinar la cohesión de cada mezcla, añadiendo la cantidad de agua necesaria para que se pudiera trabajar.



Fig. 50. Ensayo de la caída de la bola.

Después de fabricar la bola, se tiró desde la altura ya expresada para observar cómo se comportaba cada mezcla. En el caso de la muestra 1, la cohesión era prácticamente total, sin fisuras en el borde de la bola. En

el caso de la muestra 2, se apreciaba una falta de cohesión entre las partículas que se manifiesta con importantes grietas. En la muestra 3, se observa una adecuada cohesión con mínimas grietas en los bordes.

5.2.4.2.9_ Ensayo del lavado de manos

Se realiza como paso último a los anteriormente descritos. Define mediante el lavado de manos (al contener restos del material manipulado), si hay más presencia de arenas, limos o arcillas. Si al lavarse las manos se notan jabonosas y presentan cierta dificultad para ser lavadas, el suelo manipulado será arcilloso, mientras que si no cuesta absolutamente nada, arenoso; limoso será en el caso intermedio.

La muestra que mayor dificultad presentaba a la hora del lavado era la muestra 1, seguida de la muestra 3 y de la muestra 2.

5.2.4.3_ Ensayos de laboratorio. Caracterización de suelos

5.2.4.3.1_ Análisis granulométrico de suelos por tamizado. UNE 103101:1995

Con este ensayo se puede conocer cuál es la proporción de cada una de las partículas que componen el suelo, expresando en tanto por ciento el peso que se acumula y se retiene en cada uno de los tamices empleados.

Primeramente se tomó una porción por cuarteo representativa de la muestra. En los tres casos fueron 1.000 gr. por cada una. Esas muestras se introdujeron en estufa durante 24 horas, hasta peso constante, a 60 °C de temperatura.

Una vez que todas las muestras estaban secas, se pesaron los pesos en una balanza con una precisión de ± 1 gr. Ese peso se anotó en el casillero A del impreso del anexo de la misma norma.

Para hacer el tamizado se escogieron los tamices designados por la norma UNE 7 050 – 2, dimensionados con una abertura en mm., y que se corresponden con: 100; 80; 63; 50; 40; 25; 20; 12,5; 10; 6,3; 5; 2; 1,25; 0,4; 0,160; 0,080.

Previo al tamizado, las muestras se molieron con ayuda de un mazo de goma, para deshacer los numerosos terrones que tenía alguna de ellas. En la molienda se tuvo cuidado de no fragmentar las partículas con mayor tamaño para no alterar los resultados finales.



Fig. 51. Preparación de muestras para ensayo de análisis granulométrico por tamizado.

El procedimiento operatorio consistía en:

Se obviaron los tamices correspondientes al bloque I, cuya abertura supera los 20 mm., puesto que en todas las muestras las partículas eran de tamaño inferior, (se comprobó pasando por el tamiz 20 mm. una de las muestras con las partículas de mayores dimensiones, pasando el total de la misma).

La muestra en su totalidad se pasó por el tamiz con abertura 2 mm. La porción pasante se retiró, y la masa de la muestra retenida se lavó cuidadosamente para eliminar los posibles finos que hubieran quedado adheridos a las partículas de tamaño mayor. Este material retenido tras el lavado se introdujo en estufa hasta masa constante. El material de finos que pasó, se recogió y se decantó en un recipiente para que fuera más fácil la eliminación del agua de lavado. Una vez eliminado el agua, se introdujo en estufa hasta peso constante.

Ya seco, el material retenido se pesó anotando su masa en el casillero correspondiente. Esta porción se hizo pasar por los tamices con aberturas superiores correspondientes al bloque II, anotando el retenido en la casilla determinada.

El material seco pasante por el tamiz de 2 mm. se mantuvo a temperatura ambiente hasta que se equilibrara y posteriormente se añadió al resto de la muestra pasante.

Del total de la muestra pasante se separó por cuarteo una porción representativa que se haría pasar por el tamiz 0,080 mm. Ésta rondaba los 100 gr. Se repitió el mismo procedimiento que en el caso de los tamices del bloque II, comenzando a tamizar la porción representativa (los 100 gr. aproximadamente) en el tamiz de luz más pequeña, 0,080 mm.



Fig. 52. Procedimiento de ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado.

5.2.4.3.2_ Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande. UNE 103103:1994

Mediante este ensayo se puede averiguar el límite líquido de un suelo, que se define en esta norma como *“la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm. tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm. sobre una base también normaliza, con una cadencia de 2 golpes por segundo”*.

La preparación de la muestra siguió los siguientes pasos:

Se tomó una porción de la muestra, la cual se introdujo en estufa a 60 °C hasta alcanzar una masa constante.

Esa muestra se desmenuzó con una maza de goma, para homogeneizar la tierra. Posteriormente se hizo pasar por el tamiz 0,40 mm. Se tomó una porción de la fracción pasante de unos 150 gr.

Esos 150 gr. aproximadamente, se amasaron con agua en una cantidad tal, que posteriormente en la cuchara de Casagrande se necesitaran entre 30–35 golpes para cerrar el surco en 13 mm.



Fig. 53. Procedimiento de ensayo para determinar el límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.

Los pasos para operar fueron los siguientes:

Se colocó la masa de barro dentro de la cuchara con la ayuda de una espátula, evitando mediante presión, que quedaran burbujas en el interior. Se tomó la cuchara con el material ya extendido en el interior y se realizó un surco por la mitad con el acanalador normalizado. Se colocó la cuchara en la base y se procedió a dar los golpes.

Se extrajo unos 15 gr. aproximadamente de la muestra de la cuchara que cerró el canal en 13 mm. con un número de golpes oscilaba entre 25–15, lo cuales se introdujeron en la estufa para desecarse. En aquellos casos dónde el resultado no fue bueno, tuvo que repetirse el proceso.

A ese barro sobrante del paso anterior, se le eliminó un poco de agua (mediante el simple amasado en la mayoría de las casos), para que en la siguiente fase del ensayo, el surco cerrara con 25–35 golpes. Se extrajo igualmente unos 15 gr. y se los introdujo en la estufa hasta que quedaran totalmente secos. Como aclaración decir que cuando más líquido era el barro, con menos golpes se cerraba el surco.

Una vez secos los 15 gr. aproximadamente, tanto de la prueba que se cerró con 25–15 golpes, como de la que se cerró con 25–35, se pesaron anotándose los resultados para que tras las operaciones oportunas pudieran sacarse los límites líquidos (2 resultados en total).

El límite líquido final se obtuvo trasladando esos dos resultados a una gráfica que mediante un sencillo procedimiento señalaba el límite líquido final de la muestra ensayada.

5.2.4.3.3_ Determinación del límite plástico de un suelo. UNE 103104:1993

Este ensayo determina el límite plástico, que se corresponde según esta norma como *“la humedad más baja con la que puede formarse con un suelo, cilindros de 3 mm. de diámetro, rodando dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que lo cilindros empiezan a resquebrajarse”*.

La preparación de la muestra:

Sigue el mismo procedimiento que en el ensayo anteriormente descrito, la diferencia es que en vez de coger 150 gr. de la muestra pasante por el tamiz 0,40 mm. se cogieron únicamente 20 gr.

Esos 20 gr. se amasaron con agua hasta formar una bola que pudiera ser fácilmente maleable (ni muy seca, ni muy líquida). De la bola se extrajeron 15 gr. para el ensayo.

El procedimiento siguió los siguientes pasos:

Esa muestra tomada de la bola se dividió por la mitad y se comenzó a hacer cilindros rodándolos sobre una superficie lisa de granito. La presión ejercida por los dedos fue únicamente la necesaria para que el rollo fuera estirándose hasta conseguir que el diámetro fuera como máximo de 3 mm., resquebrajándose en el proceso.

Los cilindros resquebrajados se separaron y se tomaron del total 5 gr. como muestra representativa. Se pesó y se introdujo en estufa hasta masa constante. Una vez seco se volvió a pesar para obtener el peso desecado. Se repitió el proceso con la otra mitad de la bola.

Una vez obtenidos los dos límites plásticos, el límite plástico final se calculó haciendo la media aritmética de las dos humedades resultantes.



Fig. 54. Procedimiento de ensayo para determinar el límite plástico de un suelo.

5.2.4.3.4_ Elección del suelo

Como se observa en la Fig. 55., correspondiente a los resultados del ensayo granulométrico por tamizado, el contenido de materia correspondiente a finos es demasiado elevado para su uso en construcción en la muestra 1, saliéndose de los límites establecidos por CRATERRE. Tanto la muestra 2 como la muestra 3, tienen granulometrías muy uniformes y bastante similares. La muestra 2 tiene porcentajes de finos y arenas prácticamente iguales. La muestra 3, aunque se presenta muy equilibrada, tiene un contenido de finos ligeramente superior al de arenas. Ambas dos podrían emplearse perfectamente en construcción.

Tamiz (mm)	MUESTRA 1 Pasa (%):	MUESTRA 2 Pasa (%):	MUESTRA 3 Pasa (%):
100	100,00	100,00	100,00
80	100,00	100,00	100,00
63	100,00	100,00	100,00
50	100,00	100,00	100,00
40	100,00	100,00	100,00
25	100,00	100,00	100,00
20	100,00	100,00	100,00
12,5	100,00	100,00	100,00
10	100,00	100,00	100,00
6,3	99,82	100,00	100,00
5	99,30	100,00	99,99
2	98,00	99,60	99,20
1,25	96,00	98,74	96,22
0,4	89,45	86,08	83,28
0,160	80,00	63,27	67,70
0,080	71,03	49,56	55,11

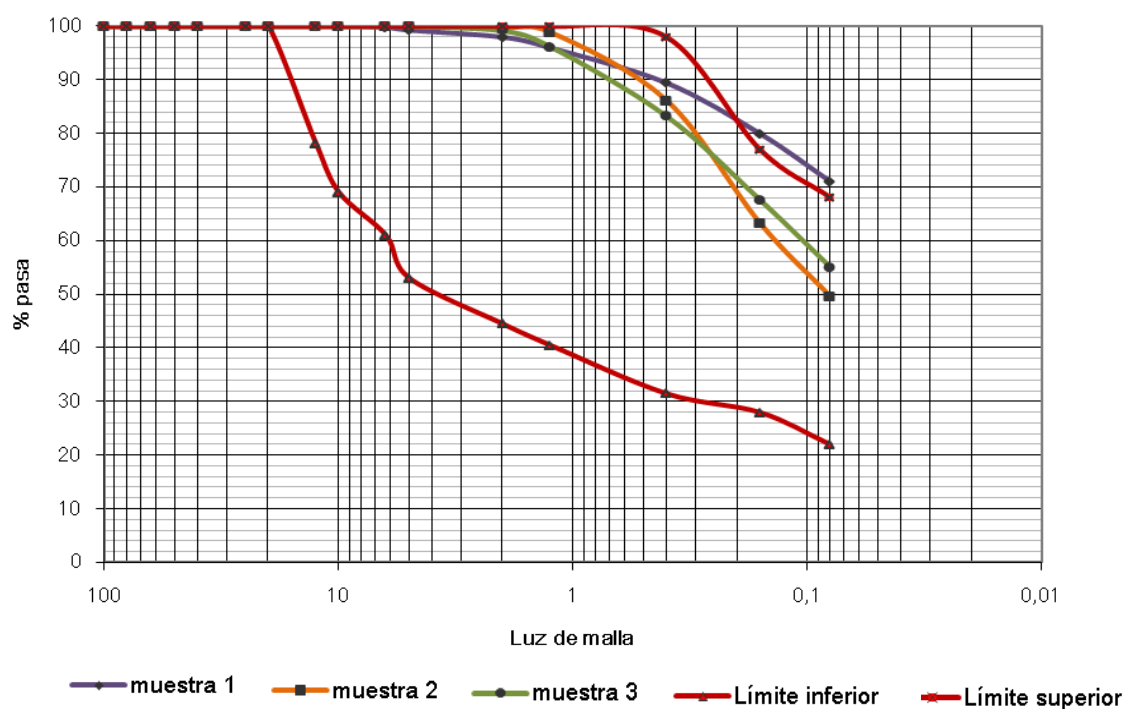
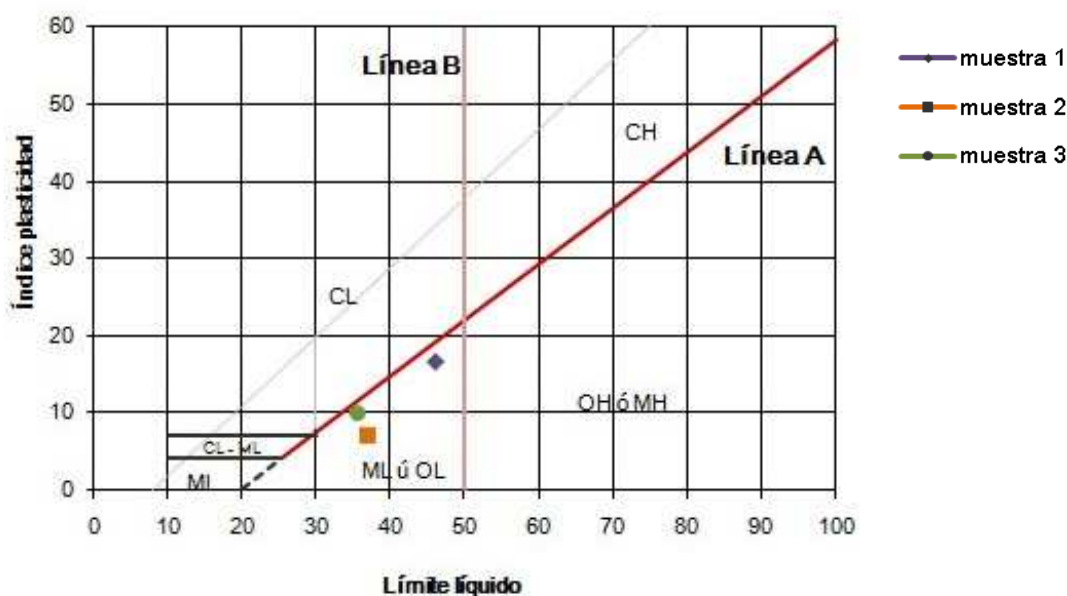


Fig. 55. Resultados de ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado.

En cuanto a los ensayos para determinar los Límites de Atterberg, los resultados fueron:

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
LL (%)	46,20	37,00	35,60
LP (%)	29,50	30,10	25,80
IP (%)	16,70	6,90	9,80
Humedad natural (%)	8,60	4,26	3,02
H/LL	0,19	0,12	0,08
H/LP	0,29	0,14	0,12



Plasticidad (arcillas) o compacidad (limos): Baja: $LL < 30$; Media: $30 < LL < 50$; Alta: $LL > 50$

Fig. 56. Resultados de ensayos para determinación de límites líquido y plástico.

Como aprecia en la Fig. 56., ninguna de las muestras tiene unos índices de plasticidad demasiado elevados, lo que se traduce en que con poco agua, es posible pasar de un estado plástico a uno líquido. Los límites líquidos estarían comprendidos dentro de un rango de plasticidad media en todos los casos.

Según el sistema de clasificación de suelos unificado S.U.C.S, las muestras de terreno extraídas se corresponderían con:

- Muestra 1_ **ML**, limo de baja plasticidad con arena.
- Muestra 2_ **SM**, arena limosa.
- **Muestra 3_ ML**, limo de baja plasticidad arenoso.

A la hora de elegir el suelo con el que experimentar, se ha tenido en cuenta lo recomendado por varios autores que han trabajado sobre el tema. La elección final se corresponde con la **muestra 3**, ya que al ser utilizada con fines de mortero de barro al que se añadirá un porcentaje de fibras, se ha creído conveniente que el contenido de

finos fuera ligeramente superior al de arenas. Además, como los porcentajes se encuentran muy equilibrados, la arena proporcionará el cuerpo suficiente para permitir la estabilidad del revestimiento frente a la acción del agua, la erosión... Respecto al índice de plasticidad obtenido, se ha creído (y según varios estudios) un valor suficiente para trabajar el mortero en las condiciones de partida.

5.2.5_ ENSAYOS EN MORTEROS

5.2.5.1_ Determinación del contenido de humedad

Primeramente, y una vez elegida la tierra final con la que se trabajaría en el resto del proyecto, se procedió a determinar su humedad.

La humedad es la relación entre el peso del agua que contiene la muestra y el peso de sus sólidos, a determinar por secado en estufa. Normalmente, ésta oscila entre 5 – 8% en suelos granulares (arenas y gravas) y entre 60 – 70% en suelos arcillosos, aunque estos valores pueden variar.

Para calcular la humedad por secado en estufa se utilizó la norma UNE 103-300-93. Primeramente se extrajo 1000 gr. de la tierra correspondiente a la muestra 3, pesados a temperatura ambiente y con la humedad propia del terreno. Se introdujeron en estufa, a 110 °C, hasta masa constante durante 24 horas.

Una vez seca esta porción de muestra, se pesó en balanza con una precisión de ± 1 gr. El peso desecado fue de 970,69 gr. Con estos dos pesos, se calculó la humedad natural.

PESO ESPECÍFICO APARENTE y_{ap}	PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO y_d	FÓRMULA	HUMEDAD W
1000 gr.	970,69 gr.	$W = [(y_{ap} - y_d) / y_d] * 100$	3,02%

Fig. 57. Determinación de la humedad del suelo.

Una vez obtenida la humedad natural, se procedió a obtener la humedad con la que se trabajarían los morteros de barro y de barro más fibras, es decir, el agua de amasado.

Se comenzó utilizando 500 gr. de tierra desecada. A continuación esa cantidad se molió para conseguir una granulometría más uniforme. Se fue añadiendo agua de manera progresiva hasta conseguir una masa con la que se pudiera trabajar. Para saber qué contenido de agua se estaba utilizando, se llenó una probeta con muescas

numeradas de agua hasta completar un 1litro, la diferencia entre la cantidad de agua inicial y la final se correspondería con la cantidad de agua utilizada.

En un primer momento se superó el contenido mínimo de agua con el cual la mezcla sería trabajable. Esto se determinó con la prueba de la bola, ya que como se ha explicado en los ensayos de campo en suelos, al dejar caer la bola con el brazo extendido, a una altura de 1,20 m. aproximadamente, ésta se esparció sin llegar a resquebrajarse.

Para compensar el exceso de agua, se añadió a la mezcla de barro (formada por 500 gr. de tierra + agua), otros 200 gr. de tierra desecada, que igualmente se molió previamente a su utilización.

El contenido de humedad establecido para el adobe, (el apropiado y recomendado por la prueba de la bola) se queda corto para una masa que se va a trabajar como revestimiento, por lo que se aumentó ligeramente esa cantidad de agua recomendada (en función de la rotura de la bola tirada a 1,20 m. del suelo).



Fig. 58. Procedimiento para la determinación de la humedad de trabajo.

Tras la caída de la bola, y manteniendo esa humedad, se acudió a la “prueba del albañil”, ésta consistió en tirar la bola de barro con una llana sobre una rasilla, colocada en vertical y a unos 30 cm. aproximadamente, para comprobar si la bola con esa humedad se adhería a la rasilla. Se consiguió buena adherencia y se fijó el contenido de humedad en el **30%** sobre el peso de la tierra desecada.

Para comprobar mediante otro procedimiento que el contenido de agua de amasado era el adecuado, se observó los límites de Atterberg obtenidos en los ensayos anteriores:

$$W_L = 35,6\%$$

$$W_P = 25,8\%$$

Como es lógico, el agua de amasado debería estar comprendida entre estos dos valores: si rozara el W_P , la mezcla se podría trabajar pero con mayor dificultad,

mientras que si rozara el W_L , la pasta sería demasiado líquida y perdería adherencia con el soporte. Por tanto, se consideró que una **humedad de trabajo del 30%** sobre el peso desecado sería la adecuada. Ésta se mantendría en todos los ensayos.

5.2.5.2_ Ensayo de retracción

La retracción en un mortero es la contracción por pérdida de volumen debido a la evaporación del agua de amasado que se produce tras haber finalizado el secado. Si esta retracción es intensa, provoca un cambio volumétrico capaz de crear tensiones importantes en zonas impedidas de deformarse. Si se supera el valor de adherencia del mortero, ocasiona que los bordes de las fisuras se levanten y se abarquillen. Aumenta con:

- El espesor de recubrimiento.
- La mayor relación agua/tierra.
- La menor relación volumen/superficie.

En este trabajo, lo que interesaba era observar cual era la retracción superficial de cada uno de los morteros, comparándolas entre sí, midiendo los parámetros más característicos de las grietas y clasificando visualmente a éstas. De esta manera, se podría determinar cuál de los morteros experimentaba menores y mayores retracciones.

Preparación de las muestras:

Para la elaboración de cada probeta se utilizaron bandejas de metal de 160 x 160 mm. Sobre estas bandejas se colocarían las muestras de cada mortero, cuyo volumen era de 160 x 160 x 10 mm.

Las cantidades de cada componente empleado para la elaboración de las mismas:

- 400 gr. de tierra desecada.
- 120 gr. de agua.
- Fibras (3% o 4% en peso).

Las condiciones de laboratorio, medidas en el momento de la elaboración de las probetas eran:

- Temperatura: 26,5 °C.
- Humedad: 50%.

La tierra desecada en estufa a unos 110 °C aproximadamente, se sacó para ser molida con ayuda de una maza de goma consiguiendo así, una granulometría más uniforme.

Las fibras utilizadas se cortaron con una longitud de 40 mm. (longitud recomendada por varios estudios).

Procedimiento operatorio:

Primeramente y atendiendo a la dosificación anterior, se realizó la probeta de mortero de barro sin fibras. Se introdujo la cantidad de tierra desecada en una espuerta y se mezcló con agua, vertida en 3 fases para conseguir una hidratación progresiva, hasta obtener una masa homogénea. La duración del amasado, simplemente con las manos, duró aproximadamente 10 minutos.

Posteriormente la masa se colocó sobre una de las bandejas metálicas. Con ayuda de una espátula se extendió el mortero hasta que la superficie quedara lo más regular y lisa posible.

En el caso de los morteros adicionados con fibras se siguió el mismo proceso que en el del mortero de barro, pero la tierra se mezcló con las fibras en seco para obtener resultados más uniformes. Una vez mezclados ambos, se añadió la cantidad de agua establecida (igualmente en 3 fases). Como la adición con fibras redujo la trabajabilidad del mortero, para conseguir una masa homogénea, se necesitaron tiempos de amasado de 20 minutos aproximadamente.

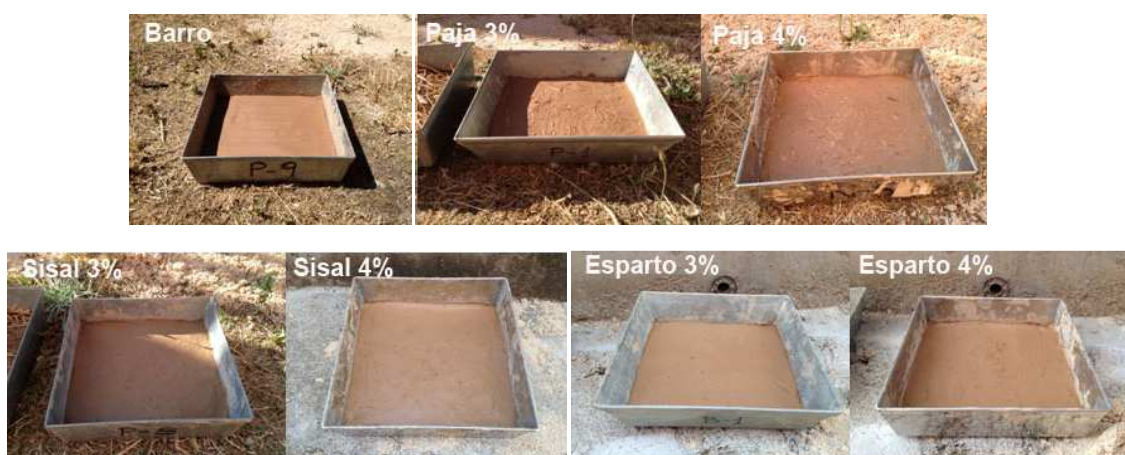


Fig. 59. Probetas para ensayo de retracción.

Una vez realizadas las probetas, se secaron a la intemperie durante 24 horas, para que se evaporara el agua de amasado y otras 24 h. en estufa a una temperatura de 60°C, hasta su completo secado.

Con las probetas totalmente secas, se comprobó la retracción que cada una había experimentado. Para ello se utilizó una regla milimetrada y un calibre que ayudaran a medir las fisuras. Se tuvo en cuenta la separación respecto del molde de fabricación, el tipo, la anchura y la profundidad de las fisuras.

5.2.5.3_ Ensayos de comportamiento frente al agua

5.2.5.3.1_ Ensayo por goteo

Con este ensayo lo que se pretendía era estudiar el comportamiento de los morteros frente a la erosión de su superficie ocasionada por el contacto continuo de gotas de agua en una de las caras de las probetas, simulando las consecuencias de una lluvia fuerte y prolongada. De esta forma se podría comparar los resultados en cada uno de los casos, verificando cual de los morteros resultaba más erosionable.

Para el diseño de este ensayo, se tuvo como guía lo establecido en la UNE 41410:2008, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques, basado en el ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) y la experiencia llevada a cabo por otros doctorandos en condiciones similares (F.J. Castilla Pascual).

Preparación de las muestras:

Para la elaboración de cada probeta se utilizaron bandejas de metal de 160 x 160 mm. Sobre estas bandejas se colocarían las muestras de cada mortero, cuyo volumen era de 160 x 160 x 20 mm.

Las cantidades de cada componente empleado para la elaboración de las mismas:

- 800 gr. de tierra desecada.
- 240 gr. de agua.
- Fibras (3% o 4% en peso).

Las condiciones de laboratorio, medidas en el momento de la elaboración de las probetas eran:

- Temperatura: 26,5 °C.

- Humedad: 50%.

La tierra desecada en estufa a unos 110 °C aproximadamente, se sacó para ser molida con ayuda de una maza de goma consiguiendo así, una granulometría más uniforme.

Las fibras utilizadas se cortaron con una longitud de 40 mm. (longitud recomendada en varios estudios).

Procedimiento operatorio:

Las probetas se realizaron siguiendo las mismas pautas que en el ensayo de retracción, solo que el espesor de las mismas, sería en este caso de 20 mm. En esta prueba no se realizó probeta de mortero de barro sin fibras porque se comprobó que debido a la fuerte retracción que sufre, era imposible mantener de una sola pieza la baldosa a ensayar.

Una vez realizadas las probetas se secaron a la intemperie durante 24 horas para que se evaporara el agua de amasado y otras 24 h en estufa a una temperatura de 60°C, hasta su completo secado.

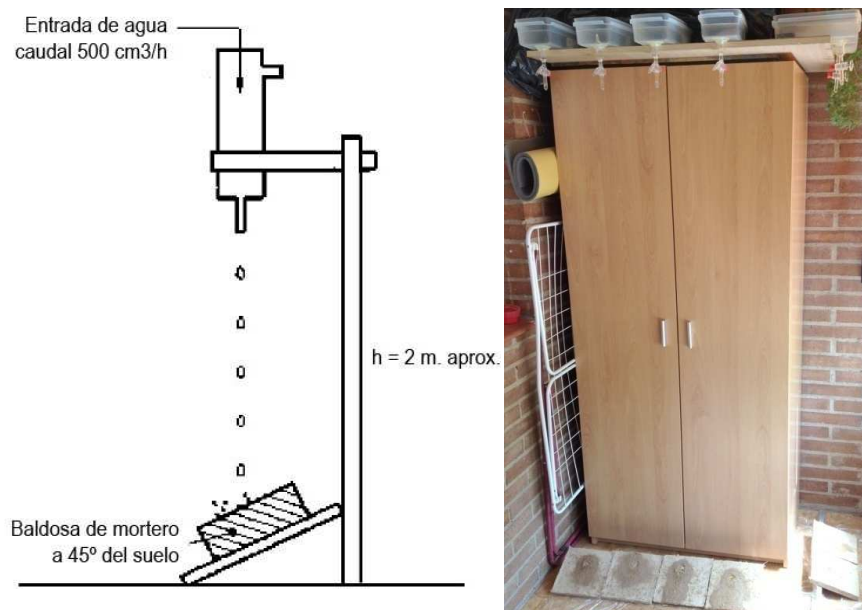


Fig. 60. Procedimiento de ensayo por goteo.

Antes de comenzar con el ensayo fue necesario fabricar los depósitos que más tarde se llenarían de agua, cuya salida estaría regulada por una válvula. El caudal de salida se estableció en 500 cm³/h. aproximadamente (F.J.Castilla Pascual). Estos depósitos se colocaron a unos 2 m. aproximadamente del suelo.

Las piezas de cada mortero se colocaron en el suelo sobre unos listones de madera, con una inclinación de 45° respecto de la horizontal.

Una vez montado el sistema de ensayo, se abrieron las válvulas con el caudal establecido y la duración de la prueba fue 3 horas, hasta que las probetas flexionaron por la mitad debido al contenido de agua absorbida.

5.2.5.3.2_ Ensayo de absorción de agua por capilaridad

Este ensayo pretendía determinar cuál de los morteros, influenciados por el tipo y la cantidad de fibras, tiende a absorber más agua en el mismo periodo de tiempo, ya que una mayor cantidad de agua absorbida está relacionada con la mayor porosidad de las fibras (C. Juárez; P. Valdez; A. Durán). Además, se quería comprobar cuál de ellos es más susceptible a perder material a lo largo de este proceso.

Para ello, la prueba se ha apoyado en lo establecido en la norma UNE-EN 1015-18: 2003. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad de los morteros endurecidos y la norma la UNE 41410:2008, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques, con las variaciones necesarias para adaptarlas a este material estabilizado únicamente con fibras naturales.

Preparación de las muestras:

Para la elaboración de cada probeta se utilizaron moldes normalizados de 160 x 40 x 40 mm.

Las cantidades de cada componente empleado para la elaboración de las mismas:

- 800 gr. de tierra desecada.
- 240 gr.de agua.
- Fibras (3% o 4% en peso).

Las condiciones de laboratorio, medidas en el momento de la elaboración de las probetas eran:

- Temperatura: 26°C.
- Humedad: 50%.

La tierra desecada en estufa a unos 110 °C aproximadamente, se sacó para ser molida con ayuda de una maza de goma consiguiendo así, una granulometría más uniforme.

Las fibras utilizadas se cortaron con una longitud de 40 mm. (longitud recomendada en varios estudios).

Procedimiento:

La elaboración de las pastas de los morteros siguió el mismo proceso que en ensayos anteriores.

Una vez obtenidas la masas, y siguiendo lo establecido en la norma UNE – EN 1015-18 sobre morteros, era necesario hacer un mínimo de 3 probetas por mezcla, por lo que se elaboraron 3 probetas por cada tipo de mortero.

El relleno de los moldes se hizo en dos tongadas, la primera de ellas hasta la mitad de la altura de la probeta y la segunda hasta colmatarla. La pasta fue comprimida con ayuda de una espátula para que las propiedades de la probeta fueran lo más homogéneas posibles. Además se dio 25 golpes por tongada en la mesa de sacudidas (según norma citada) para mejorar la compresión y facilitar la salida del aire disminuyendo la cantidad de huecos.

Una vez realizadas las probetas, se introdujeron en una cámara húmeda (humedad del $90\pm 5\%$) durante 24 horas para evitar una pérdida demasiado rápida del agua de amasado. Además, cada juego de 3 probetas se tapó durante esas 24 horas con un cristal por el mismo motivo.

Tras esas 24 primeras horas, se sacaron de la cámara húmeda y se dejaron secar durante otros 5 días a temperatura ambiente y en condiciones de laboratorio. Después se metieron en estufa a 70°C durante otras 24 horas. El secado total duró 7 días.

Para el ensayo de capilaridad se siguió la norma UNE – EN 772 – 11:2001/ A1:2006, pero con las variaciones introducidas en la UNE 41410:2008.

Se utilizó una bandeja cuadrada sobre la que se colocó una serie de cuñas para que de esta forma las probetas no tocaran la superficie de la bandeja. Se rellenó de agua hasta un nivel tal que las probetas quedaran sumergidas 5 mm. Se mantuvo constante esos 5 mm. durante los 10 minutos que duró el ensayo.

En esta primera fase del ensayo se obtuvieron los datos de:

- Peso desecado 1: Antes del ensayo de capilaridad (con las probetas sacadas de la estufa).
- Peso con agua absorbida: Después del ensayo de capilaridad.
- Altura de ascensión máxima (mm.)
- Altura de ascensión mínima (mm.)

Debido a que el material estaba estabilizado exclusivamente con fibras, la pérdida de éste durante el ensayo fue importante en alguno de los casos, por lo que para obtener resultados más fiables, esas mismas probetas se introdujeron después del ensayo en la estufa nuevamente, durante otras 24 h. a una temperatura de 90°C. Tras eso se pesaron de nuevo para ver la cantidad de materia que habían perdido.

En esta segunda fase se obtuvo el dato de:

- Peso desecado 2.



Fig. 61. Procedimiento de ensayo de absorción de agua por capilaridad.

5.2.5.3.3_ Ensayo de intemperismo

Este ensayo tenía por objeto determinar de forma visual el impacto de los agentes externos sobre los morteros de barro con estabilización y sin ella.

Preparación de las muestras:

Para la elaboración de cada probeta se utilizaron bandejas de metal de 160 x160 mm. Sobre estas bandejas se colocarían las muestras de cada mortero, con un volumen de 160 x 160 x 10 mm.

Las cantidades de cada componente empleado para la elaboración de las mismas:

- 400 gr. de tierra desecada.
- 120 gr.de agua.
- Fibras (3% o 4% en peso).

Las condiciones de laboratorio, medidas en el momento de la elaboración de las probetas eran:

- Temperatura: 26,5 °C.
- Humedad: 50%.

La tierra desecada en estufa a unos 110 °C aproximadamente, se sacó para ser molida con ayuda de una maza de goma consiguiendo así, una granulometría más uniforme.

Las fibras utilizadas se cortaron con una longitud de 40 mm. (longitud recomendada en varios estudios).

Procedimiento operatorio:

Las probetas se realizaron siguiendo las mismas pautas en el ensayo de retracción. Para esta prueba no se realizó probeta de mortero de barro sin fibras, ya que como se ha comentado antes, en el ensayo de retracción se comprobó que era imposible mantener de una sola pieza la baldosa probeta.

Procedimiento operatorio:

Este ensayo consistió en colocar las baldosas de mortero a la intemperie, sobre unos listones de madera, a 45° aproximadamente sobre la horizontal del suelo y con orientación sur, para que fueran sometidas a la acción del viento, del agua, del sol... comprobando el desgaste en la superficie y otras posibles lesiones patológicas.

5.2.5.4_ Ensayos de resistencia mecánica

5.2.5.4.1_ Ensayo de flexión

Este ensayo buscaba determinar la diferencia de comportamientos entre las probetas realizadas con barro exclusivamente y las realizadas con barro más fibras. El barro se caracteriza por tener una rotura de tipo frágil y la adición de fibras podría modificar este comportamiento.

Para realizar este ensayo se ha utilizado la norma UNE-EN-1015-11: 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido, con ciertas adaptaciones al material estudiado.

Preparación de las muestras:

Se han seguido los mismos pasos que en el caso de las probetas para el ensayo de absorción de capilaridad, con la misma proporción de componentes, mismo procedimiento, mismos tiempos de amasado e igual tiempo de secado (7 días).

Procedimiento operatorio del ensayo:

Según la citada norma era necesario emplear 3 probetas por cada tipo de mortero. Éstas fueron ensayadas a los 7 días pues se consideró tiempo suficiente para el secado completo. Además, como únicamente llevaban estabilizantes naturales, la resistencia a los 7 días podía considerarse como la final.

Las probetas se colocaron, una por una, dentro de la máquina de ensayo uniaxial, apoyando una de las caras que había estado en contacto con las paredes del molde durante el enmoldado, sobre los rodillos de apoyo. La resistencia a flexión se calcula aplicando una carga en tres puntos de los prismas de mortero endurecido hasta su rotura.

La velocidad de aplicación de la carga viene fijada en la norma, y fue de 10N/s (la mínima).



Fig. 62. Realización de probetas para ensayo de flexión. Máquina de rotura.

Además este ensayo se completó con una aportación fotográfica, obtenida por el microscopio, de los diferentes tipos de rotura según los distintos morteros, observando el comportamiento de las fibras ante la rotura a flexión.

5.2.5.4.2_ Ensayo de compresión

Esta prueba servía para comprobar la influencia de las fibras en la resistencia a compresión del barro, si ésta aumentaba o disminuía con la adición de fibras y si en todos los casos se repetía el mismo comportamiento. La tierra se caracteriza por tener

buena resistencia a compresión en contra de lo que ocurre con otro tipo de esfuerzos, y se mostraba interesante observar si esa capacidad podía verse modificada.

Para realizar este ensayo se ha empleado igualmente la norma UNE-EN-1015-11: 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido, con ciertas adaptaciones al material estudiado.

Preparación de las muestras:

Las muestras son las partes resultantes, cada una de las mitades, de la rotura a flexión de cada probeta.

Procedimiento operatorio del ensayo:

En este caso, se necesitaban 6 probetas por cada tipo de mortero (2 por cada probeta).

Las probetas se colocaron, una por una, dentro de la máquina de ensayo uniaxial. En esta ocasión, se colocaron de forma que la cara que había estado en contacto con el aire durante el enmolado, no entrara en contacto con los cilindros que funcionaban de tope, y que tampoco fuera sobre esa cara sobre la que se aplicara la carga.

La velocidad de aplicación de la carga viene fijada en la norma, y fue de 50N/s (la mínima).

Para conocer cuál era comportamiento mecánico de los morteros de barro y de barro más fibras una vez que habían sido sometidos a la acción del agua, las probetas utilizadas en el ensayo de absorción de agua por capilaridad, se secaron en estufa durante 48 horas hasta su completo secado, y posteriormente fueron sometidas a ensayos de flexión y compresión.

De esta manera, se ha podido conocer el efecto que causa el agua en las resistencias de los morteros, si las fibras modifican su comportamiento tras haber estado en contacto con el agua y si cambia el tipo de fractura con respecto a las probetas ensayadas directamente a flexión y compresión.

Las condiciones del ensayo fueron las mismas que los anteriormente descritos.

6_ Análisis de resultados

En las siguientes páginas aparecen los resultados de cada ensayo y un resumen final de todos ellos juntos.

6.1_ ENSAYO DE RETRACCIÓN

ANÁLISIS DE GRIETAS					
MEZCLA	CONTRACCIÓN LATERAL (mm)	GRIETAS			
		ANCHURA (mm)	PROFUNDIDAD	CONTINUIDAD (SI/NO)	DIRECCIÓN DE FIBRAS (SI/NO)
BARRO	3,5	1,5 – 2,5	Muy profundas	Si	-
B + PAJA 3%	0,5 – 1,5	0,1 – 0,6	Bastante superficiales	Poca	Si
B + PAJA 4%	0,5 – 1,5	0,1 – 0,5	Superficiales	Poca	Si
B + ESPARTO 3%	0,5 – 1,0	0,1 – 0,2	Muy superficiales	Si	Si
B + ESPARTO 4%	0,3 – 0,5	0,1 – 0,6	Superficiales	Si	Si
B + SISAL 3%	0,5 – 1,0	0,1 – 0,4	Bastante superficiales	Si	Si
B + SISAL 4%	0,3 – 0,5	0,1 – 0,3	Superficiales	Si	Si

Fig. 63. Resultados de ensayo de retracción.

Del ensayo de retracción se extrae que como cabía esperar, la probeta de mortero de barro experimenta una fuerte fisuración que hace que sea totalmente imposible trabajar con un revestimiento de barro exclusivamente. Además, la profundidad de las grietas fue tal, que la baldosa al desmoldarse no pudo mantenerse de una sola pieza, fragmentándose en trozos delimitados por las grietas iniciales.

Respecto a las probetas de barro adicionadas con fibras, los comportamientos más interesantes se presentan las probetas con esparto 3% y con sisal 3%, con unas fisuras más superficiales y de menor anchura que en el resto de los casos. Sin embargo, estas probetas presentan mayor contracción lateral que las de esparto 4% y sisal 4%.

En las probetas con paja se aprecia que por regla general, la anchura de las fisuras es mayor al del resto, condicionada probablemente por el diámetro de estas fibras, superior al del esparto o el sisal. En las probetas con paja, al contrario de lo que ocurre en las probetas con las otras fibras, no se muestra demasiada continuidad entre las grietas, es decir, no se enlazan unas con otras como ocurre en los casos del esparto y del sisal.



Fig. 64. Resultados gráficos de ensayo de retracción.

6.2_ ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA

Ensayo por goteo

HUELLA DEL AGUA				
MEZCLA	FORMA	TAMAÑO (mm.)		PROFUNDIDAD (mm.)
		VERTICAL	HORIZONTAL	
B + PAJA 3%	Elipse alargada	46	28	11,5
B + PAJA 4%	Elipse alargada	50	30	15
B + ESPARTO 3%	Círculo	31	31	18,5
B + ESPARTO 4%	Círculo	27	30	12
B + SISAL 3%	Elipse corta	34	30	12
B + SISAL 4%	Elipse corta	36	30	10,5

Fig. 65. Resultados de ensayo por goteo.

Después de las 3h. que duró el ensayo, todas las probetas se habían flexionado por el peso del agua absorbida, quedando prácticamente todas ellas sin poder manipularse debido al reblandecimiento que habían experimentado.

Se observó la gran importancia que tiene una correcta distribución de las fibras, ya que por ejemplo, en la baldosa con esparto 3%, el agua penetró con una profundidad superior al del resto, posiblemente porque justo en el punto de incidencia de la gota, había menos cantidad de fibras que en otras zonas de su superficie.

La huella de agua con mayor extensión se da en las probetas de paja. Las mayores profundidades se experimentan en las de esparto. Las fibras en este caso, actúan como malla que liga con la matriz de barro para evitar el colapso total de la baldosa.

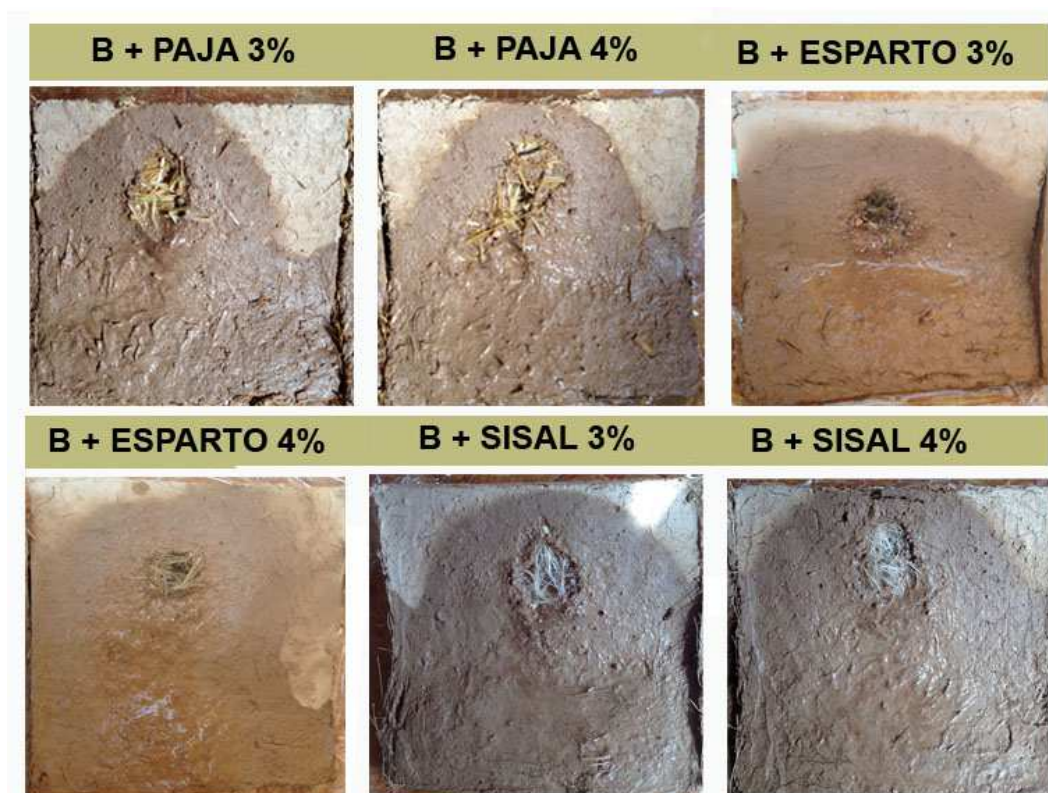


Fig. 66. Resultados gráficos de ensayo por goteo.

Ensayo de absorción de agua por capilaridad

Las probetas que peor comportamiento presentan son las de barro, ya que al someterlas al ensayo de capilaridad son las que más cantidad de materia pierden. Por el hecho de no estar adicionadas con fibras, son las que menos cantidad de agua absorben.

Respecto a las probetas con fibras, hay una diferencia de comportamientos entre las que contienen paja y las que contienen esparto o sisal. Mientras que en las probetas con paja la cantidad de agua absorbida es mayor cuanto mayor es el contenido de fibras, las de paja 4% absorben más que las de paja 3%; en las probetas con esparto y con sisal ocurre todo lo contrario, las de esparto y sisal 3% absorben más que las de esparto y sisal 4%.

En cuanto a la pérdida de masa en las probetas con fibras, igualmente se aprecia diferencias entre las de paja y las de esparto y sisal. Las probetas con paja pierden

más masa con un mayor contenido de fibras, mientras que las probetas con esparto y con sisal, experimentan mayores pérdidas de material con menos contenido de fibras.

ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE MATERIA PERDIDA							
MEZCLA	PESO	PESO	PESO	PÉRDIDA DE MASA		PÉRDIDA DE MASA	
	DESECADO 1	ABSORBIDO	DESECADO 2	(gr.)		($)$)	
	(gr.)	(gr.)	(gr.)	Series	Promedio	Series	Promedio
BARRO I	384,65	378,83	362,06	22,59		5,87	
BARRO II	381,76	372,88	356,65	25,11	24,39	6,58	6,36
BARRO III	383,32	374,67	357,85	25,47		6,64	
PAJA 3% I	353,10	409,69	345,71	7,39		2,09	
PAJA 3% II	354,13	397,37	345,53	8,60	6,40	2,43	1,81
PAJA 3% III	352,37	399,75	349,17	3,20		0,91	
PAJA 4% I	328,95	392,22	315,32	13,63		4,14	
PAJA 4% II	328,46	378,96	308,43	20,03	12,03	6,10	3,66
PAJA 4% III	329,70	404,89	327,28	2,42		0,73	
ESPARTO 3% I	393,76	455,75	383,94	9,82		2,49	
ESPARTO 3% II	395,63	456,36	383,44	12,19	10,52	3,08	2,64
ESPARTO 3% III	408,47	459,32	398,92	9,55		2,34	
ESPARTO 4% I	371,73	427,15	367,46	4,27		1,15	
ESPARTO 4% II	362,78	418,77	358,95	3,83	4,80	1,06	1,30
ESPARTO 4% III	369,90	424,96	363,59	6,31		1,71	
SISAL 3% I	372,62	420,93	353,02	19,60		5,26	
SISAL 3% II	376,87	418,14	363,32	13,55	13,51	3,60	3,63
SISAL 3% III	362,62	420,53	355,24	7,38		2,04	
SISAL 4% I	351,24	408,73	349,24	2,00		0,57	
SISAL 4% II	357,81	406,93	357,45	0,36	0,98	0,10	0,28
SISAL 4% III	351,21	410,59	350,62	0,59		0,17	

Fig. 67. Resultados de ensayo de absorción de agua por capilaridad. Cantidad de materia perdida.

ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE AGUA ABSORBIDA								
MEZCLA	AGUA ABSORBIDA (gr.)		AGUA ABSORBIDA ($)$)		ABSORCIÓN MÁXIMA (mm.)		ABSORCIÓN MÍNIMA (mm.)	
	Series	Promedio	Series	Promedio	Series	Promedio	Series	Promedio
BARRO I	16,77		4,36		20		18	
BARRO II	16,23	16,61	4,25	4,33	21	21	19	18
BARRO III	16,82		4,39		22		18	
B + PAJA 3% I	63,98		18,12		40		19	
B + PAJA 3% II	51,84	55,47	14,64	15,70	40	40	18	18
B + PAJA 3% III	50,58		14,35		40		18	
B + PAJA 4% I	76,90		23,38		40		26	
B + PAJA 4% II	70,53	75,01	21,47	22,80	40	40	24	27
B + PAJA 4% III	77,61		23,54		40		30	
B + ESPARTO 3% I	71,81		18,24		40		26	
B + ESPARTO 3% II	72,92	68,38	18,43	17,15	40	40	25	26
B + ESPARTO 3% III	60,40		14,79		40		27	
B + ESPARTO 4% I	59,69		16,06		30		20	
B + ESPARTO 4% II	59,82	60,29	16,49	16,38	40	37	24	21
B + ESPARTO 4% III	61,37		16,59		40		20	
B + SISAL 3% I	67,91		18,23		40		27	
B + SISAL 3% II	54,82	62,67	14,55	16,93	30	37	18	22
B + SISAL 3% III	65,29		18,01		40		21	
B + SISAL 4% I	59,49		16,94		30		20	
B + SISAL 4% II	49,48	56,31	13,83	15,95	40	36	17	19
B + SISAL 4% III	59,97		17,08		38		20	

Fig. 68. Resultados de ensayo de absorción de agua por capilaridad. Cantidad de agua absorbida.

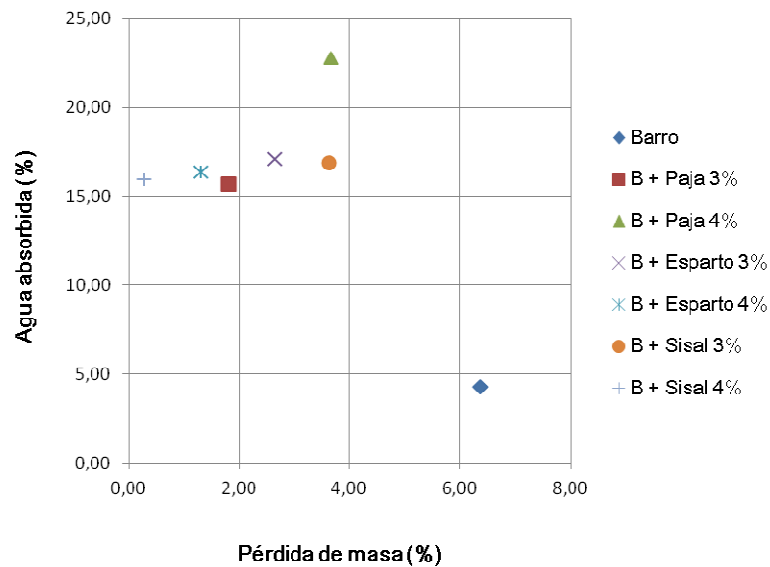


Fig. 69. Resultados de ensayo de absorción de agua por capilaridad. Relación entre la cantidad de materia perdida y la cantidad de agua absorbida.

Para calcular la absorción capilar, se ha tenido en cuenta la siguiente fórmula:

$$AC = \frac{PH - PS}{S}$$

Dónde:

- AC, es la absorción capilar (gr/cm²).
- PH, es el peso húmedo, después de finalizar el ensayo (gr).
- PS, es el peso desecado, antes de realizar el ensayo (gr).
- S, es la superficie de las caras sumergidas (cm²).

ABSORCIÓN CAPILAR MEDIA (gr/cm2)							
BARRO	B + PAJA 3%	B + PAJA 4%	B + ESPARTO 3%	B + ESPARTO 4%	B + SISAL 3%	B + SISAL 4%	
0,26	0,87	1,17	1,07	0,94	0,98	0,88	

Fig. 70. Absorción capilar media.

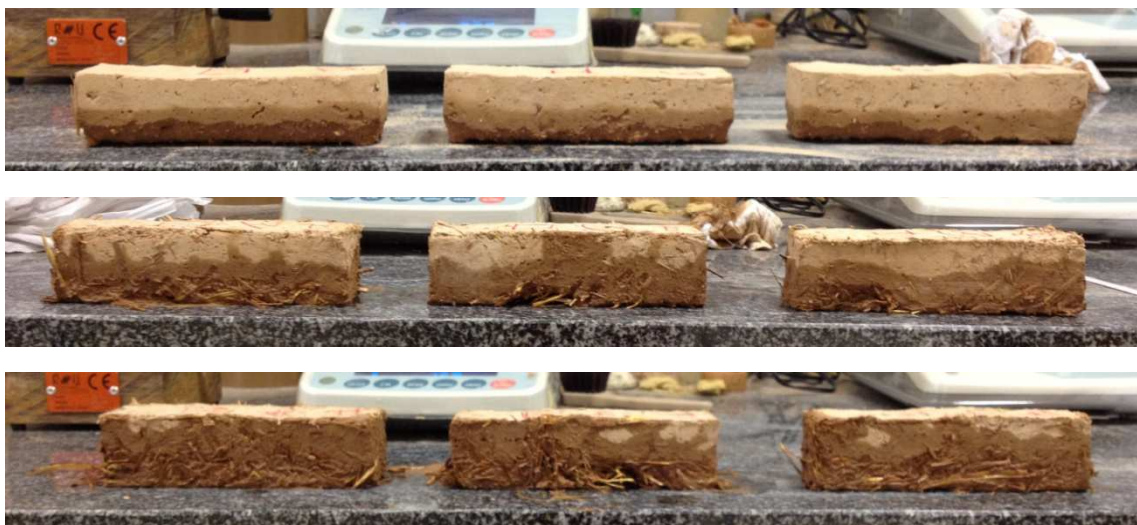




Fig. 71. Probetas después del ensayo de capilaridad. Desde la imagen superior a la inferior: Barro; B+Paja 3%; B+Paja 4%; B+Esparto 3%; B+Esparto 4%; B+Sisal 3% y B+Sisal 4%.

Ensayo de intemperismo

Este ensayo tiene como resultado el envejecimiento de las probetas a lo largo de las 8 semanas de duración. Se observa como el viento ha erosionado la superficie de las mismas, así como el agua y otros agentes meteorológicos.

Las que peor envejecimiento tienen son las probetas con paja. Tras las 8 semanas de exposición, aunque la erosión superficial no ha debilitado la pieza, ha sido suficiente para que junto con la acción del agua, se produzca el lavado de la capa de barro más externa, dejando al descubierto las fibras. Las probetas no han sufrido apenas variaciones dimensionales. Respecto a los diferentes resultados experimentados en las probetas con paja 3% y con paja 4%, parece que el lavado de la cara superficial de la probeta es menos acusado en la de paja 3%.

En cuanto a las probetas de esparto, éstas han tenido un comportamiento más estable que las de paja. Las dimensiones se han mantenido iguales e incluso los cantos no han sido erosionados prácticamente nada (en la de esparto 4% se aprecia unas mínimas mordeduras por pérdida de material). Tras la realización de este ensayo, la superficie de las probetas sigue presentando un aspecto bastante liso y limpio.

Las probetas de sisal han tenido un comportamiento bastante similar a las de esparto, mínimo lavado de la cara superficial y ausencia de variación de las dimensiones

iniciales. Al igual que las de esparto, se presentan unas ligeras irregularidades en los cantos de la probeta de sisal 4%, debido a la pérdida de material a causa del agua y la erosión, lo que deja al descubierto las fibras. La erosión es menor en la probeta de sisal 3% que en la de sisal 4%.

Los resultados gráficos de izda. a dcha. se corresponden en este orden con: B+Sisal 3%; B+Sisal 4%; B+Esparto 3%; B+Esparto 4%; B+Paja 3%; B+Paja 4%.



Fig. 72. Resultados gráficos de ensayo de intemperismo. Semana 1 y 2.

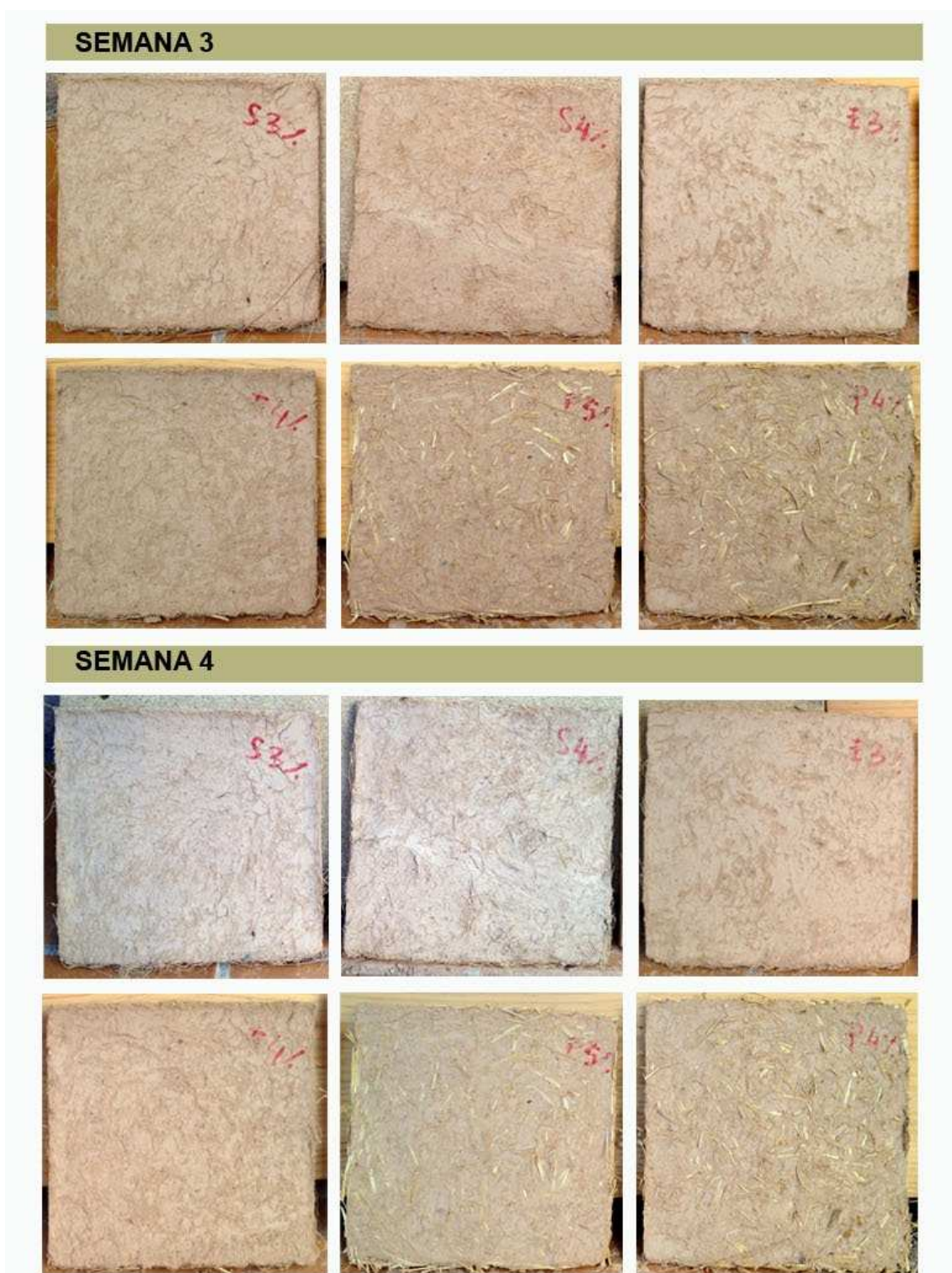


Fig. 73. Resultados gráficos de ensayo de intemperismo. Semana 3 y 4.

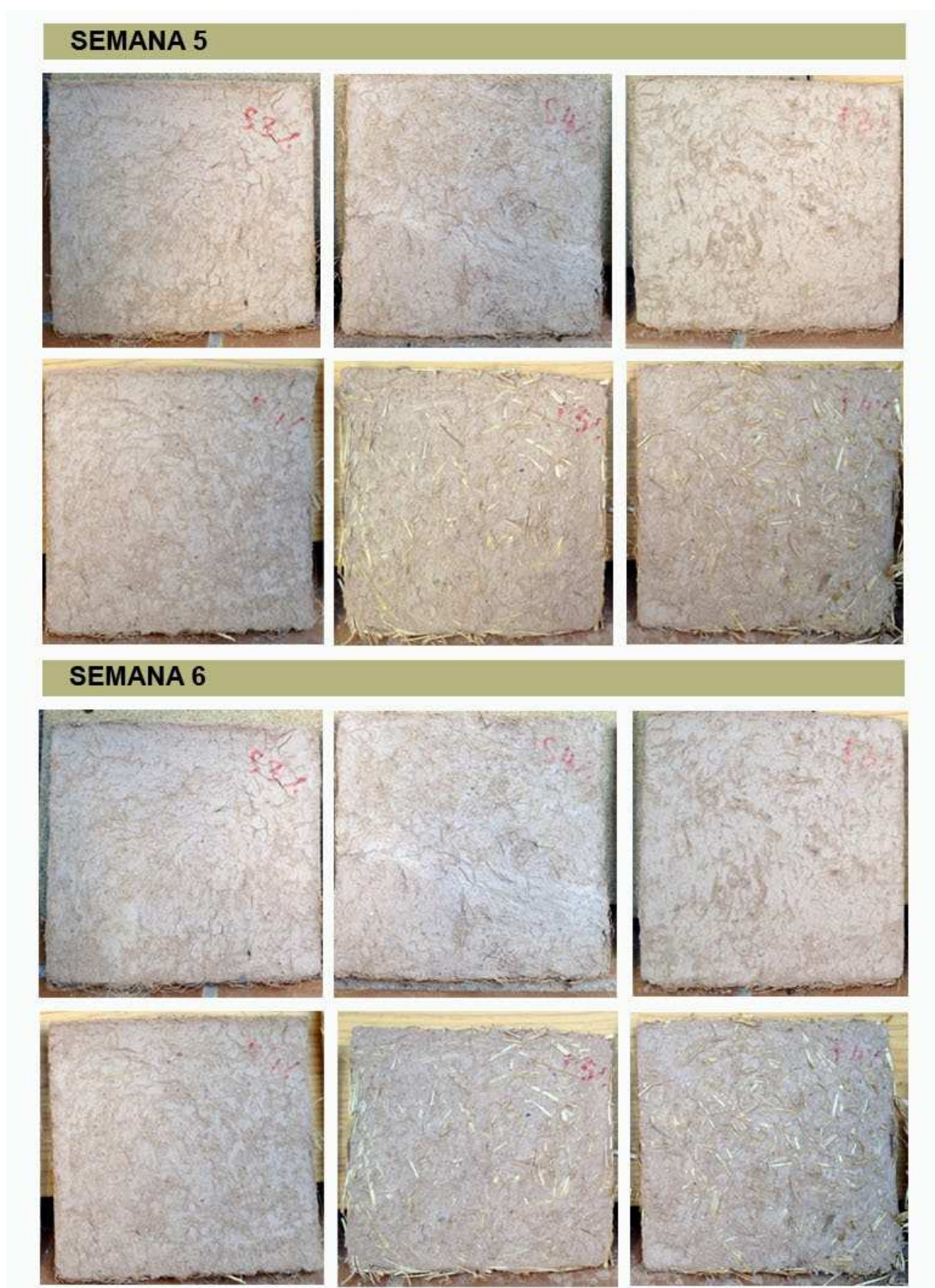


Fig. 74. Resultados gráficos de ensayo de intemperismo. Semana 5 y 6.



Fig. 75. Resultados gráficos de ensayo de intemperismo. Semana 7 y 8.

6.3_ ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA

Ensayo de flexión

En este ensayo todos los valores han resultado cero. El barro es un material de rotura frágil y no experimenta deformación plástica. Al adicionar el barro con fibras lo que ha ocurrido es que se producía la rotura mecánica de las probetas sin romperse las fibras en los casos del esparto y del sisal. En las probetas con paja, la mayor parte de las fibras resultaban fracturadas tras el ensayo de flexión.

Los cortes de las probetas de barro y de las de barro con paja son prácticamente verticales. Los cortes en las probetas de barro con esparto, son sesgados desviándose ligeramente de la vertical. Los cortes de las probetas de barro con sisal forman prácticamente 45° respecto de la vertical.

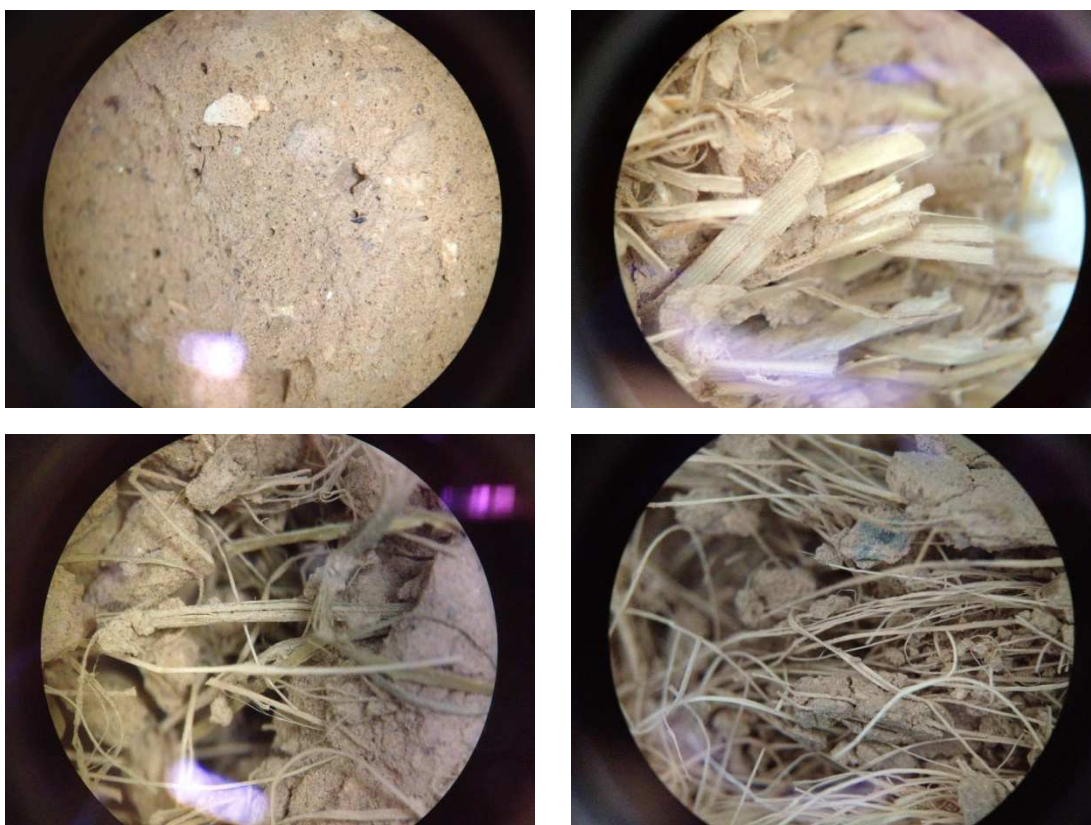


Fig. 76. Roturas de las probetas después del ensayo de flexión. Imagen superior izda., barro; imagen superior dcha., barro con paja; imagen inferior izda., barro con esparto; imagen inferior dcha., barro con sisal.



Fig. 77. Roturas de las probetas después del ensayo de flexión.

Ensayo de compresión

La Fig. 78. muestra los resultados del ensayo de compresión de las probetas ensayadas directamente.

Las probetas de barro muestran mayores resistencias que las de barro con paja, en cambio, son menores que las obtenidas en las probetas de barro con esparto y barro con sisal. En las probetas con paja se observa que con un mayor contenido de fibras la resistencia a compresión disminuye, en contra de lo que ocurre con el esparto y el sisal, que a más contenido de fibras, mayores resistencias.

En cuanto a las deformaciones, la que experimenta el barro es mínima en comparación a la experimentada en las probetas adicionadas: se deforma muy poco antes de producirse la rotura. Esta situación mejora bastante en las probetas con fibras, presentando una mayor tenacidad que las probetas de barro.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS				
MEZCLA	SUBGRUPO	CARGA ROTURA (KN)	DEFORMACIÓN ROTURA (mm)	TENSIÓN ROTURA (MPa)
BARRO I	BARRO IA	4,38	1,15	2,74
	BARRO IB	4,43	1,06	2,77
BARRO II	BARRO IIA	4,29	3,08	2,68
	BARRO IIB	3,60	1,40	2,25
BARRO III	BARRO IIIA	3,05	2,91	1,91
	BARRO IIIB	2,62	2,05	1,64
B + PAJA 3% I	B + PAJA 3% IA	2,53	8,40	1,58
	B + PAJA 3% IB	3,17	5,16	1,98
B + PAJA 3% II	B + PAJA 3% IIA	2,65	4,91	1,66
	B + PAJA 3% IIB	2,66	5,74	1,66
B + PAJA 3% III	B + PAJA 3% IIIA	3,57	5,22	2,23
	B + PAJA 3% IIIB	3,39	4,86	2,12
B + PAJA 4% I	B + PAJA 4% IA	2,15	4,20	1,34
	B + PAJA 4% IB	2,90	5,86	1,81
B + PAJA 4% II	B + PAJA 4% IIA	2,70	5,46	1,69
	B + PAJA 4% IIB	2,24	5,26	1,40
B + PAJA 4% III	B + PAJA 4% IIIA	2,56	4,99	1,60
	B + PAJA 4% IIIB	3,11	5,56	1,94
B + ESPARTO 3% I	B + ESPARTO 3% IA	4,22	5,29	2,64
	B + ESPARTO 3% IB	5,77	5,55	3,61
B + ESPARTO 3% II	B + ESPARTO 3% IIA	4,27	6,87	2,67
	B + ESPARTO 3% IIB	5,40	4,54	3,38
B + ESPARTO 3% III	B + ESPARTO 3% IIIA	5,64	5,47	3,53
	B + ESPARTO 3% IIIB	5,81	5,43	3,63

B + ESPARTO 4% I	B + ESPARTO 4% IA	4,70	4,71	2,94
	B + ESPARTO 4% IB	5,76	5,26	3,60
B + ESPARTO 4% II	B + ESPARTO 4% IIA	5,76	4,03	3,60
	B + ESPARTO 4% IIB	5,22	4,83	3,26
B + ESPARTO 4% III	B + ESPARTO 4% IIIA	4,49	5,38	2,81
	B + ESPARTO 4% IIIB	6,16	4,56	3,85
B + SISAL 3% I	B + SISAL 3% IA	2,92	6,78	1,83
	B + SISAL 3% IB	5,86	4,51	3,66
B + SISAL 3% II	B + SISAL 3% IIA	3,63	4,07	2,27
	B + SISAL 3% IIB	5,55	3,80	3,47
B + SISAL 3% III	B + SISAL 3% IIIA	4,21	4,70	2,63
	B + SISAL 3% IIIB	4,79	4,47	2,99
B + SISAL 4% I	B + SISAL 4% IA	5,15	5,06	3,22
	B + SISAL 4% IB	5,38	5,10	3,36
B + SISAL 4% II	B + SISAL 4% IIA	4,21	4,80	2,63
	B + SISAL 4% IIB	5,02	5,06	3,14
B + SISAL 4% III	B + SISAL 4% IIIA	4,22	3,85	2,64
	B + SISAL 4% IIIB	4,54	4,96	2,84

Fig. 78. Resultados de ensayo a compresión a los 7 días.

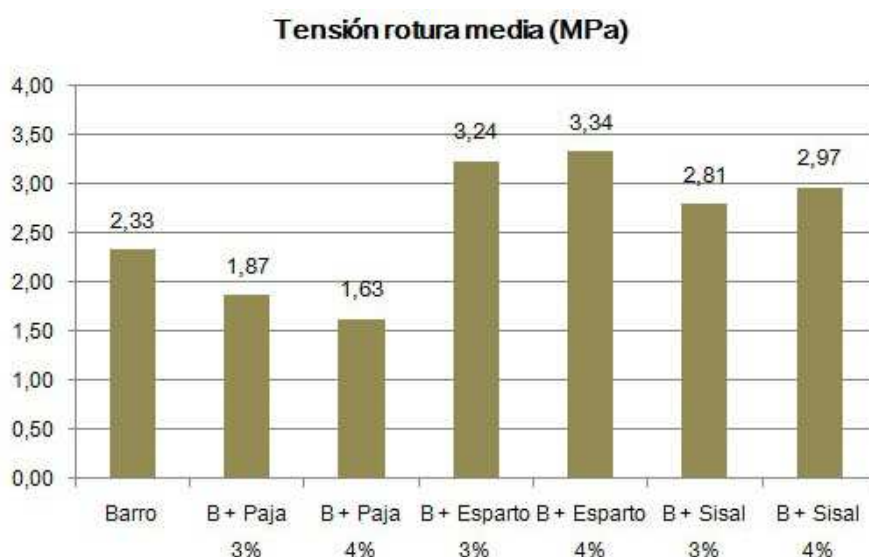


Fig. 79. Tensión de rotura media a compresión.

Las probetas que fueron sometidas primeramente al ensayo de absorción de agua por capilaridad no parecen experimentar cambios significativos respecto de las probetas que fueron ensayadas directamente a compresión (tras el ensayo de flexión). Se muestra una tendencia ligeramente a la alta en la resistencia a compresión de las probetas de barro, al igual que en las de barro con paja 3% y barro con esparto 3%, pero como se ha comentado es una diferencia mínima y probablemente causada por las condiciones de amasado y de ejecución de las probetas.

Lo que sí parece más relevante es el cambio en el comportamiento a la rotura. Las deformaciones sí que experimentan variaciones más notables. Las probetas de barro, mientras que alcanzan una resistencia ligeramente superior, se rompen con una deformación bastante inferior. La deformación que experimentan las probetas con paja apenas sufren alteraciones. Las probetas de barro con esparto y de barro con sisal experimentan unas deformaciones bastante superiores a las de sus homólogas de la Fig. 78.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DESPUÉS DE ENSAYO DE CAPILARIDAD				
MEZCLA	SUBGRUPO	CARGA ROTURA (KN)	DEFORMACIÓN ROTURA (mm.)	TENSIÓN ROTURA (MPa)
BARRO I	BARRO IA	3,96	0,87	2,48
	BARRO IB	3,67	1,43	2,29
BARRO II	BARRO IIA	5,16	0,91	3,23
	BARRO IIB	4,10	0,88	2,56
BARRO III	BARRO IIIA	3,28	0,84	2,05
	BARRO IIIB	4,20	1,46	2,63
B + PAJA 3% I	B + PAJA 3% IA	3,08	5,48	1,93
	B + PAJA 3% IB	3,41	5,31	2,13
B + PAJA 3% II	B + PAJA 3% IIA	4,19	5,80	2,62
	B + PAJA 3% IIB	3,35	5,69	2,09
B + PAJA 3% III	B + PAJA 3% IIIA	2,76	4,60	1,73
	B + PAJA 3% IIIB	3,31	5,68	2,07
B + PAJA 4% I	B + PAJA 4% IA	2,43	5,18	1,52
	B + PAJA 4% IB	2,44	5,46	1,53
B + PAJA 4% II	B + PAJA 4% IIA	2,28	6,24	1,43
	B + PAJA 4% IIB	2,58	6,73	1,61
B + PAJA 4% III	B + PAJA 4% IIIA	3,26	5,18	2,04
	B + PAJA 4% IIIB	2,69	5,43	1,68
B + ESPARTO 3% I	B + ESPARTO 3% IA	6,02	6,37	3,76
	B + ESPARTO 3% IB	6,20	7,10	3,88
B + ESPARTO 3% II	B + ESPARTO 3% IIA	4,58	7,03	2,86
	B + ESPARTO 3% IIB	4,42	6,06	2,76
B + ESPARTO 3% III	B + ESPARTO 3% IIIA	5,88	6,43	3,68
	B + ESPARTO 3% IIIB	5,29	6,24	3,31
B + ESPARTO 4% I	B + ESPARTO 4% IA	5,57	8,63	3,48
	B + ESPARTO 4% IB	4,93	6,16	3,08
B + ESPARTO 4% II	B + ESPARTO 4% IIA	3,00	5,16	1,88
	B + ESPARTO 4% IIB	6,10	5,64	3,81
B + ESPARTO 4% III	B + ESPARTO 4% IIIA	4,11	6,18	2,57
	B + ESPARTO 4% IIIB	6,43	5,40	4,02
B + SISAL 3% I	B + SISAL 3% IA	3,52	5,57	2,20
	B + SISAL 3% IB	5,31	8,51	3,32

B + SISAL 3% II	B + SISAL 3% IIA	4,22	5,62	2,64
	B + SISAL 3% IIB	3,15	4,58	1,97
B + SISAL 3% III	B + SISAL 3% IIIA	4,81	6,15	3,01
	B + SISAL 3% IIIB	4,30	5,14	2,69
B + SISAL 4% I	B + SISAL 4% IA	4,08	5,12	2,55
	B + SISAL 4% IB	3,33	5,64	2,08
B + SISAL 4% II	B + SISAL 4% IIA	4,10	4,94	2,56
	B + SISAL 4% IIB	3,28	5,65	2,05
B + SISAL 4% III	B + SISAL 4% IIIA	1,46	3,02	0,91
	B + SISAL 4% IIIB	4,65	5,71	2,91

Fig. 80. Resultados de ensayo a compresión a los 9 días, después de ensayo de capilaridad.

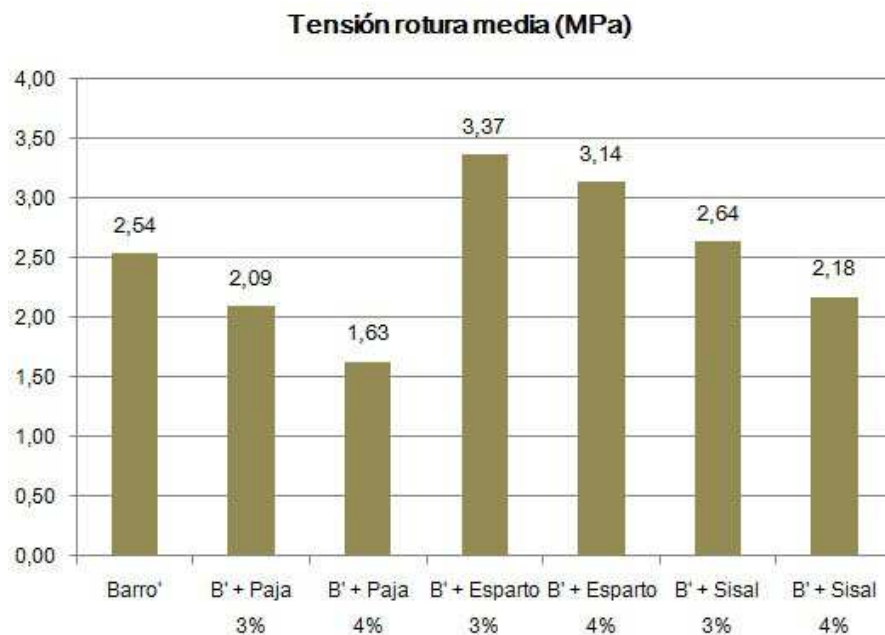


Fig. 81. Tensión de rotura media a compresión, en probetas después de ensayo de capilaridad

En el primer caso, como se muestra en la Fig. 79., las mayores resistencias, a excepción de la paja, se conseguían en las probetas con mayor contenido de fibras. En este caso, tal y como aparece en la Fig. 81., las mayores resistencias se alcanzan en las muestras con un contenido de fibras menor.

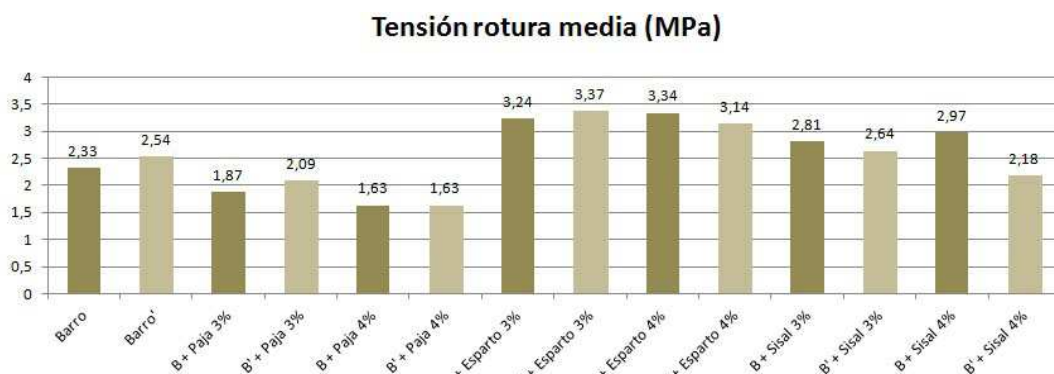


Fig. 82. Resultados de resistencia a compresión de las dos series diferentes.

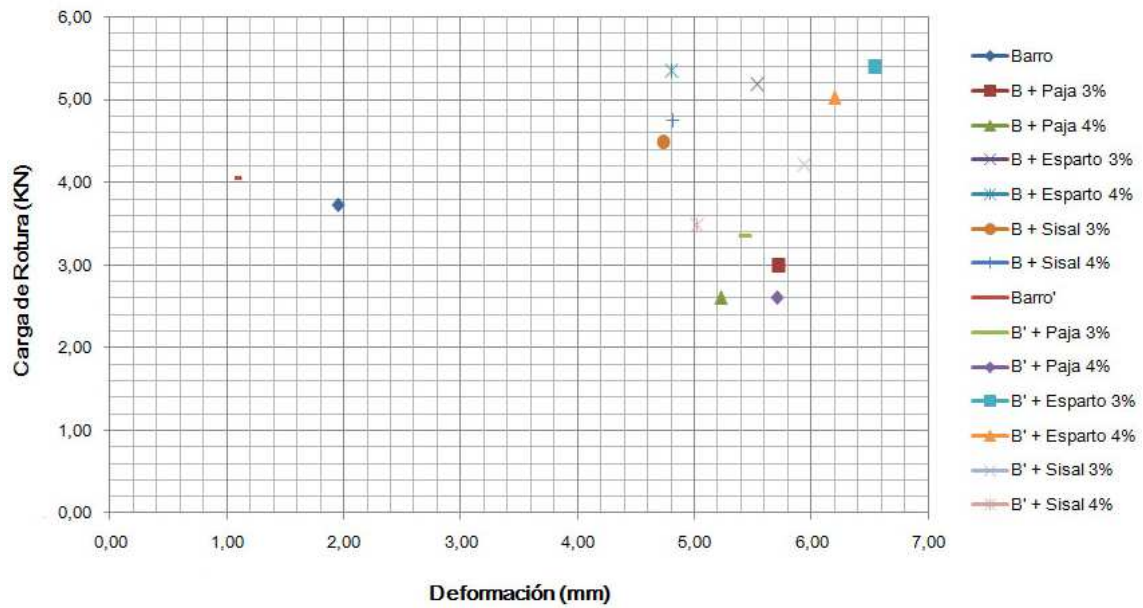


Fig. 83. Comparación de la carga de rotura y la deformación experimentada en las dos series diferentes.

En las siguientes gráficas se muestran los diferentes tipos de rotura en función de la curva tensión-deformación definida a partir del ensayo de compresión.

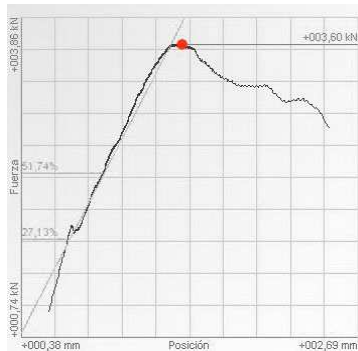


Fig. 84. Diagrama carga – deformación de Barro.

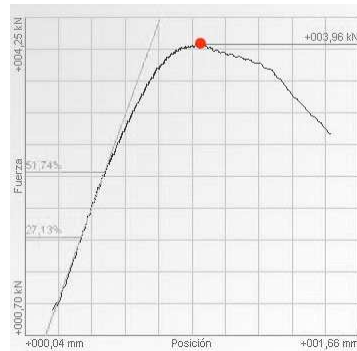


Fig. 85. Diagrama carga – deformación de Barro'.

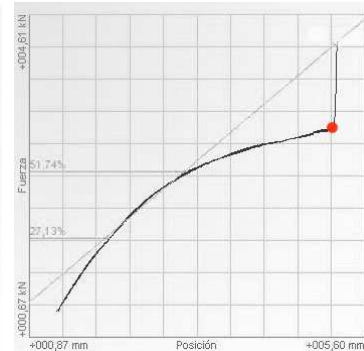


Fig. 86. Diagrama carga – deformación de B+Paja 3%.

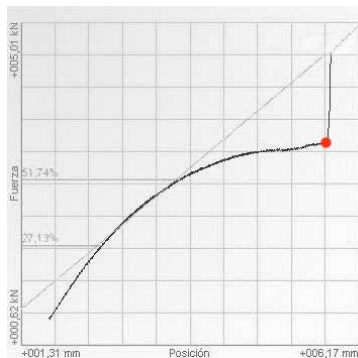


Fig. 87. Diagrama carga – deformación de B'+Paja 3%.

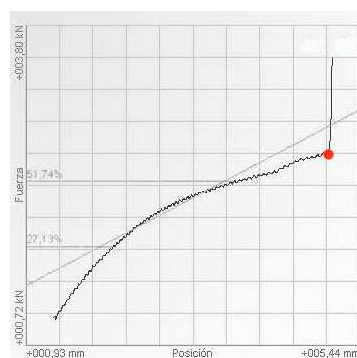


Fig. 88. Diagrama carga – deformación de B+Paja 4%.

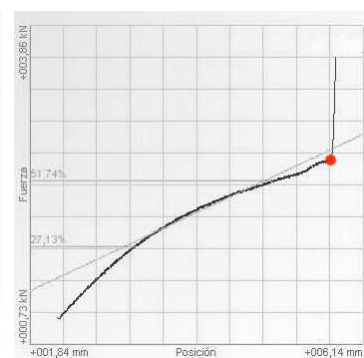


Fig. 89. Diagrama carga – deformación de B'+Paja 4%.

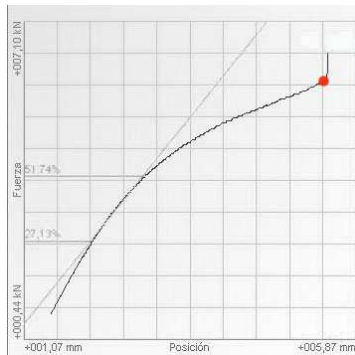


Fig. 90. Diagrama carga – deformación de B+Esparto 3%.

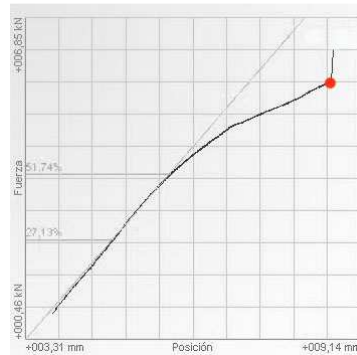


Fig. 91. Diagrama carga – deformación de B'+Esparto 3%.

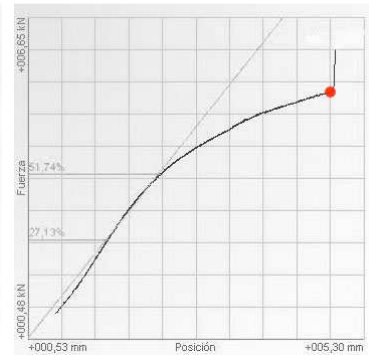


Fig. 92. Diagrama carga – deformación de B+Esparto 4%.

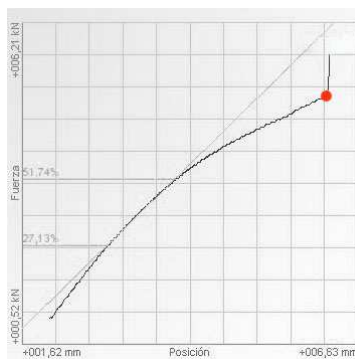


Fig. 93. Diagrama carga – deformación de B'+Esparto 4%.



Fig. 94. Diagrama carga – deformación de B+Sisal 3%.

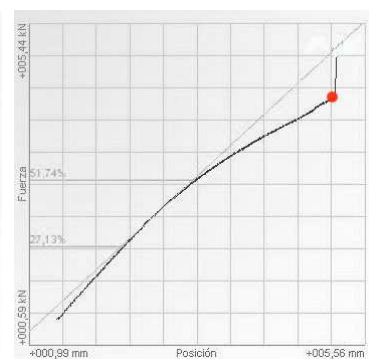


Fig. 95. Diagrama carga – deformación de B'+Sisal 3%.

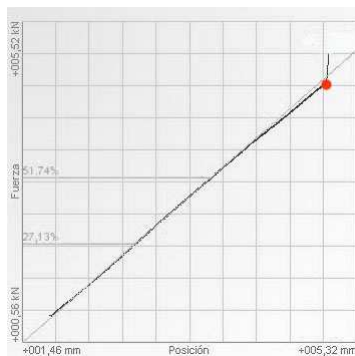


Fig. 96. Diagrama carga – deformación de B+Sisal 4%.

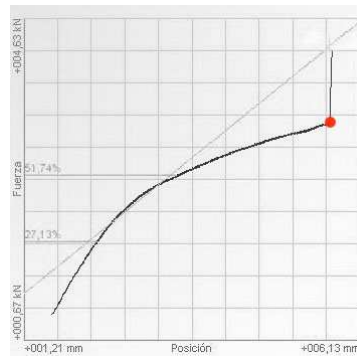


Fig. 97. Diagrama carga – deformación de B'+Sisal 4%.



Fig. 98. Roturas de las probetas después del ensayo de compresión.

6.4_ RESUMEN DE RESULTADOS

1. Es de suma importancia que el proceso de fabricación de probetas sea, en todos los casos, lo más similar posible para que las variables a considerar se parezcan en todas las situaciones. Un amasado homogéneo, así como una correcta compactación, son factores claves a la hora de obtener resultados verídicos.
2. Un contenido de fibras del 3% mantiene todavía una aceptable trabajabilidad en los morteros con barro, en cambio, con proporciones más elevadas resulta más difícil el mezclado homogéneo de todos los componentes. Respecto a las distintas fibras utilizadas, la mejor trabajabilidad se ha dado en los morteros con esparto, seguidos de los de paja y por último los de sisal.
3. Del ensayo de retracción se extrae que los morteros exclusivamente de barro son imposibles para manipularse como revestimientos. Sufren grandes contracciones laterales y las grietas son tan profundas que fragmentaron la probeta de ensayo. Las probetas con paja presentan un comportamiento peor que las que contienen esparto o sisal, pues la contracción lateral es ligeramente superior, al igual que la anchura de las fisuras en la superficie. La respuesta de las probetas con mortero de barro y esparto es superior a las de barro y sisal, pero la diferencia es mínima.
4. En cuanto a la durabilidad de los morteros y su comportamiento frente a agentes meteorológicos como agua, viento... los peores resultados se han dado en las probetas de mortero de barro, comprobándose que es prácticamente imposible la aplicación de un revestimiento con barro sin estabilizante de ningún tipo. Las probetas con paja han tenido un comportamiento medio y peor que las probetas con esparto o sisal. Los resultados de las probetas con esparto y con sisal van bastante a la par en este apartado de ensayos.
 - a. En cuanto a los resultados obtenidos a raíz del ensayo de absorción de agua por capilaridad, la paja tiene un comportamiento diferente al esparto o sisal. En las probetas con paja, cuanto mayor es el contenido de fibras, mayor es la pérdida de material que se produce y mayor es la cantidad de agua absorbida. En las probetas con esparto y con sisal, cuanto mayor es el contenido de fibras, menor es la cantidad de material que se pierde y menor es la cantidad de agua absorbida. Las

probetas de mortero de barro no absorben prácticamente agua, al no contener fibras, y pierden mucha materia durante el ensayo.

5. En referencia a los ensayos de resistencia mecánica, la adición de fibras presenta variaciones importantes en comparación con el comportamiento presentado en las probetas de barro.

- a. En el ensayo a flexión todos los resultados son cero, es decir, el contenido de fibras no mejora la resistencia del barro a flexión y todas las probetas mantienen el tipo de rotura frágil característica del barro. Al someterlas a este ensayo, se produce de inmediato la rotura de la probeta; en el caso de aquellas con paja, las fibras resultaron rotas en su mayoría durante el mismo ensayo a flexión, en contra de lo que ocurrió con la mayor parte de las fibras de esparto y sisal, que se mantuvieron prácticamente intactas, costando mucho esfuerzo separar las dos mitades de las probetas rotas.

Las probetas sometidas previamente al ensayo de absorción de agua por capilaridad, siendo secadas posteriormente, no experimentaron cambios respecto a sus homólogas ensayadas directamente a flexión.

- b. En el ensayo a compresión los peores resultados se dan en las probetas con paja, con un comportamiento bien distinto al de las probetas con esparto o sisal. Las probetas con paja presentan las resistencias más bajas, seguidas de las de barro, de las probetas con sisal y por último de las probetas con esparto. En la paja, cuanto mayor es el contenido de fibras, menor es la resistencia alcanzada. En cambio, en las probetas tanto de esparto como de sisal, cuanto mayor es el contenido de fibras mayores son las resistencias alcanzadas, aunque la diferencia no es muy significativa. En cuanto a las deformaciones experimentadas, los valores superiores corresponden a las de paja, seguidos de las de esparto y por último de las de sisal.

Las probetas sometidas previamente al ensayo de absorción de agua por capilaridad, siendo secadas posteriormente, no presentan cambios demasiado relevantes en las resistencias finales a compresión. Lo que aparece es un cambio de conducta en las probetas con esparto y sisal, puesto que en este caso, cuanto mayor es el contenido de fibras, menor es la resistencia alcanzada. Probablemente esto es debido a un cambio de propiedades en las fibras tras ser sometidas a la acción del agua. En estos casos, también es destacable la deformación que experimentan,

puesto que con menos carga, se deforman más que las probetas ensayadas directamente a compresión (sin ensayo previo de absorción de agua por capilaridad).

6. Respecto a las conclusiones sobre el estudio de las construcciones con tierra existentes en Hita, decir que la mayor parte de las que mantienen los sistemas tradicionales de barro son inmuebles destinados a un uso industrial, ya que la mayoría de las viviendas, aunque mantengan la estructura portante de tierra, han sido adecentadas en los últimos tiempos con materiales alternativos a la tierra cruda: ladrillos cocidos, cemento, hormigón...

La mayor parte de los inmuebles estudiados sufren un estado de conservación bastante malo, si es que no están en ruinas, y esto es debido a varios factores: por una lado la repercusión sobre el caserío de la Guerra Civil, ya que parte de éste no fue reconstruido al finalizar la guerra; por otro lado, la finalidad de la mayoría de estos inmuebles, destinados a pajares y/o cuadras, lo que ha provocado un escaso mantenimiento durante su uso y el abandono de esas construcciones al perder en cierta medida, el carácter agrícola y ganadero del pueblo en tiempos pasados.

En cuanto a los sistemas constructivos, predominan el adobe y las tapias reforzadas con machones de adobe, sobre zócalos de piedra que sirven para proteger a las fábricas de la ascensión de agua por capilaridad. Los aleros de los tejados no son demasiado pronunciados, de media alcanzan 15 cm. de longitud.

Todos los revestimientos de barro estudiados están adicionados con fibras de paja. Las lesiones patológicas del revestimiento más comunes son: alabeos, grietas y fisuras por retracción, disgregación y desprendimiento del revestimiento. El escaso mantenimiento y el abandono de varias de estas edificaciones, han sido algunos de los factores que han acelerado el proceso patológico de estos revestimientos en la actualidad.

7_ Conclusiones

Las conclusiones de este estudio son consecuencia de los resultados obtenidos y están relacionadas con los objetivos establecidos y la hipótesis de trabajo.

La construcción con tierra, aunque abandonada por algún tiempo durante el siglo XX, ha demostrado que puede estar a la altura de las exigencias actuales de habitabilidad. Numerosas edificaciones contemporáneas han elegido este material por su economía y su bajo impacto medioambiental.

Para su uso en el contexto presente y futuro, es necesario que este material sea mejorado mediante una serie de aditivos y adiciones que desarrollen sus prestaciones iniciales, principalmente las relacionadas con el agua. En este campo son muchos y muy diferentes los productos que se encuentran en el mercado, tanto de carácter sintético como orgánico.

Una de las mejoras de la tierra consiste en la estabilización mecánica mediante fibras naturales, ya que como se ha demostrado con este trabajo, el empleo únicamente de barro sin ningún tipo de adición, bien para la fabricación de muros, bien para su uso en revestimientos, es imposible. De las distintas fibras estudiadas, las que mejoran en menor medida las propiedades originales del barro son las de paja.

Aparte de la estabilización mecánica con fibras, es necesaria la adición de otro tipo de sustancias que mejoren en mayor grado el comportamiento de los elementos de tierra frente al agua; caseína, melaza, asfalto... son componentes, igualmente naturales, que pueden incrementar las propiedades en este aspecto de los revestimientos de barro.

APORTACIONES

El establecimiento de una metodología constituida como primer paso para la recuperación de técnicas tradicionales con tierra en aquellos lugares dónde se ha venido empleando este material desde antaño. Se completa con un estudio documental sobre el entorno de las edificaciones, unas fichas sobre la situación actual de las mismas, así como con un plan de ensayos, ampliable, para predecir el comportamiento futuro de los materiales empleados en la construcción y en la rehabilitación.

8_ Futuras líneas de investigación

Respecto al avance que puede llevarse a cabo en esta línea de trabajo, se propone que futuros estudios puedan ir encaminados a:

1. Un estudio en el que se incluya la relación muro/revestimiento en función de los diferentes materiales empleados para la protección del soporte de tierra.
2. Un conocimiento más profundo sobre el comportamiento de los morteros con barro adicionados con estas fibras, completándose con un plan de ensayos más extenso y más prolongado en el tiempo, de tal forma que los resultados de laboratorio puedan asemejarse a casos reales de revocos de barro.
3. El estudio de otras fibras diferentes, o incluso las mismas, trabajándolas con otras cantidades y otras longitudes de fibra. Estudiar así mismo el análisis del ciclo de vida en cada uno de los casos, comprobando cuál es el menos nocivo para el medio ambiente.
4. El estudio del comportamiento de los revestimientos de barro adicionados con fibras y otros estabilizantes de origen natural, que puedan ser disueltos en el agua de amasado, tales como caseína, melaza... Y en general con cualquier otro tipo de estabilizante natural.
5. Un análisis más extenso de los revocos con barro existentes y con una cierta antigüedad, para determinar exactamente cada uno de sus componentes y reproducir en base a los datos obtenidos, morteros con esa misma configuración pero mejorados a partir de los avances actuales en este campo.

BIBLIOGRAFÍA

Algorri García, E. “Tres soluciones en la restauración del Palacio de Toral de los Guzmanes. León-España”. *Informes de la Construcción*. Vol. 46, n.º 434, noviembre/diciembre 1994.

Arsène, M.A.; Savastano, H.; Allameh, S.M.; Ghavami, K.; Soboyejo, W.O. “Cementitious composites reinforced with vegetable fibers”.

Balsera Moraño, R.; Coll Riera, J.M.; Roig Buxó, J. “El asentamiento layetano del Ibérico Pleno en el complejo arqueológico de Can Gambús I (Sabadell, Vallès Occidental). Interpretación socio-económica y valoración política”. *Revista d' Arqueologia de Ponent*. 2008. Nº 18, pág. 31-69.

Barbeta i Solà, G. “Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 2002.

Barrios, L.; Álvarez, L; Arcos, H.; Marchant, E.; Rosi, D. “Comportamiento de los suelos para la confección de adobes”. *Informes de la Construcción*. Vol. 51 nº466, marzo /abril 2000.

Bedaux, R. “The restoration of Djenné, Mali”. Terra 2000.

Bestraten, S.; Hormias, E.; Altemir, A. “Construcción con tierra en el siglo XXI”. *Informes de la Construcción*. Vol. 63, 523, 5-20, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Blondet, M.; Vargas, J.; Tarque, N.; Iwaki, C. “Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú”. *Informes de la Construcción*. Vol. 63, 523, 41-50, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Borges, J. “Ensayos básicos de laboratorio y de campo para la selección de tierras de construcción”. Universidad de los Andes.

Castilla, F.J. “Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas”. *Informes de la Construcción*. Vol. 63, 523, 143-152, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Castilla, F.J. "La técnica del tapial en la construcción tradicional de la provincia de Albacete". Zahora, Revista de tradiciones populares. Nº 45. ISSN: 1132 – 7030.

Castilla Pascual, F.J. "Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 2004.

Cid, J.; Mazarrón, F.R.; Cañas, I. "Las normativas de construcción con tierra en el mundo". Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 159-169, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Cobrerros Rodríguez, C. "Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible". Tesina. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de construcciones arquitectónicas I.

Criado de Val, M. "Historia de Hita y su Arcipreste". AACHE.

Del Río Muñoz, M.; Sainz Esteban, A. "La evolución de los sistemas constructivos en tierra". Construcción con tierra, tecnología y arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011. [Online].

Ducman, V.; Kopar, T. "Potential use of waste stone mud in the clay based industry". Industrial Ceramics. Vol. 24 (1) (2004) pp. 8-12.

Ferm, L. "Synthetic latex-soil, a new adobe preservation technique". Adobe 90.

Font, F.; Hidalgo, P. "La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos". Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 21-34, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Fuentes García, R. M^a. "Construcciones de tierra. El Tapial. Nuevo sistema para construcción y restauración mediante la técnica de << TIERRA PROYECTADA>>". Tesis doctoral. Universidad de Granada. 2010.

Gatani, M.P. "Ladrillos De Suelo-Cemento: Mampuesto Tradicional En Base A Un Material Sostenible". Informes de la Construcción. Vol. 37, nº 377, enero/febrero, 1986.

González, M^a. J.; Silva, J; Valbuena, F. "La Tierra y El Sol Como Elementos Básicos De La Arquitectura: Las Diez Viviendas De Amayuelas De Abajo, Palencia, España". Informes de la Construcción. Vol. 55, nº 486, julio-agosto 2003.

González de Vallejo, L.I. "Ingeniería geológica". ISBN: 84 – 205 – 3104 – 9. 2003.

Guerrero Baca, L.F. "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva". *Apuntes*. Vol. 20, núm. 2 (2007): 182-201.

Jaguaco Canchig, S.R. "Uso del adobe como material de construcción". Escuela de formación tecnológica. Quito, febrero 2007.

Juárez, C.; Valdez, P.; Durán, A. "Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción". *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 19 N°2, Agosto 2004. www.ing.puc.cl/ric.

Juárez, L. A.; Caballero, T.; Morales, V. "Ventajas del reforzamiento de muros de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales". *Informes de la Construcción*. Vol. 62, 518, 25-32, abril-junio 2010, ISSN: 0020-0883.

Julivert, M. "El Sáhara: Tierras, pueblos y culturas". Universitat de Valencia. Servei de publicacions, 2003.

Layna Serrano, F. "Castillos de Guadalajara". AACHE, 1994.

López Gómez, A. "La vivienda rural en Guadalajara en el siglo XVI según las Relaciones Topográficas de Felipe II". *Estudios Geográficos*. Tomo LVIII, nº 29, octubre-diciembre 1997.

Lozano Gómez, F. "Usos y tratamiento de la arcilla en la antigüedad". Departamento de Historia Antigua. Universidad de Sevilla, Cultura. Aparejadores, nº 55.

Lupo, S. "Una interpretación del sitio de Kerma en la Alta Nubia durante el 3er. y 2do. Milenio a.C.". *Aula Orientalis* 22 (2004) 89-106.

Maestre, F.T.; Ramírez, D.A.; Cortina, J. "Ecología del esparto (*Stipa tenacissima* L.) y los espartales de la Península Ibérica". *Ecosistemas* 16 (2): 111-130. Mayo 2007.

Maldonado Ramos, L.; Castilla Pascual, F.J; Vela Cossío, F. "Rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe y bloque de tierra comprimida". *Informes de la Construcción*. Vol. 53 nº 473, mayo/junio 2001.

Maldonado Ramos, L.; Vela Cossío, F. "El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española". *Informes de la Construcción*. Vol. 63, 523, 71-80, julio-septiembre 2011. ISSN: 0020-0883.

Mileto, C.; Vegas, F.; Lopez, J.M. "Criterios y técnicas de intervención en tapia. La restauración de la torre Bofilla de Bétera (Valencia)". Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 5-20, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Minke, G. "Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra Forschungslabor". Forschungslabor für Experimentelles Bauen Universidad de Kassel, Alemania.

Minke, G. "Shrinkage, abrasion, erosion and sorption of clay plasters". Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 153-158, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Morales Morales, R.; Torres Cabrejos, R.; Rengifo, L.A.; Irala Candiotti, C. "Manual para la construcción de viviendas en adobe".

Moriana Torró, R. "Desarrollo y caracterización de biocomposites enfibrados procedentes de recursos naturales". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Octubre 2010.

Ortiz Sanz, J.; Cañas Guerrero, I.; García Navarro, J.; Rego Sanmartín, T. "Análisis tipológico de las estructuras de las construcciones rurales tradicionales de barro. La casa de corral en el páramo de león (España)". Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 468, julio-agosto 2000.

Ossa, E.A.; Cano, F. "estudio comparativo de las propiedades mecánicas de fibras de vidrio y queratina". Scientia et Technica Año XIII, No 36, Septiembre 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.

Oteiza San José, I. de. "Estudio Del Comportamiento De La Escayola Reforzada Con Fibras De Sisal, Para Componentes En Viviendas De Bajo Coste". Informes de la Construcción. Vol. 45, nº 425-426, mayo/junio - julio/agosto 1993.

Peetsalu, P.; Resev, J.; Ruus, A.; Menind, A.; Kers, J.; Sepper, S.; Olt, J. "Preliminary investigation into mechanical properties of clay reinforced with natural fibres".

Rivera Torres, J.C.; Muñoz Díaz, E.E. "Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: el adobe". Rev. Int. De desastres naturales, accidentes e infraestructura civil. Vol. 5(2) 135.

Rodríguez, M.A.; Monteagudo, I.; Saroza, B.; Nolasco, P.; Castro, Y. "Aproximación a la patología presentada en las construcciones de tierra. Algunas recomendaciones de

intervención". Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 97-106, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Rodríguez, M.A.; Saroza, B. "Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba". ". Materiales de Construcción. Vol. 56, 282, 53-62, abril-junio 2006, ISSN: 0465-2746.

Sandoval, J.; Muñoz de la Calle, F.; Pahíno Rodríguez, L. "Ensayos de erosión hídrica sobre muros de tierra (fábrica de BTC). Métodos, resultados y discusión". Construcción con tierra, Tecnología y arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos. 2010/2011. Universidad de Valladolid. 2001.

Saroza, B.; Rodríguez, M.A.; Menéndez, J.M.; Barroso, I.J. "Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba". ". Informes de la Construcción 60, 511, 41-47, julio-septiembre 2008, ISSN: 0020-0883.

Schroeder, H. "Moisture transfer and change in strength during the construction of earthen buildings". Informes de la Construcción. 63, 523, 107-116, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Silúrico, E.; Marchámalo, M.; Rejas, J.G.; Martínez, R. "La técnica Dinar: bases y aplicación a la medición de subsidencias del terreno en la construcción". Informes de la Construcción. Vol. 62, 519, 47-53, julio-septiembre 2010, ISSN: 0020-0883.

Van Dam, J. E.G.; Bos, H. L. "Agrotechnology and Food Innovations, (A&F)". Wageningen UR, Wageningen, Países Bajos.

Vázquez Espí, M. "Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales". Informes de la Construcción. Vol. 52 nº 471, enero/febrero 2001.

Vélez Jahn, G. "El increíble silencio de las paredes de barro". ICVA. I Congreso Virtual de Arquitectura. Conferencia del Microcurso A8. Arquitectura de barro. Caracas. Venezuela. 2000.

Villena, L. "Las primeras torres rectangulares en Oriente y en Iberia". 2006.

Von Mag, M.; Rauch, M. "Paredes de tapial y su industrialización (encofrados y sistemas de compactación)". Informes de la Construcción. 63, 523, 35-40, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

Watson, L.; McCabe, K. "The cob building technique. Past, present and future". Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 59-70, julio-septiembre 2011, ISSN: 0020-0883.

PÁGINAS WEB

http://www.natural-building.co.uk/clay_plaster.htm

WWW.BAUKIT.ES

<http://es.scribd.com/doc/13158836/EL-ADOBE>

<http://es.scribd.com/doc/9201285/4-Procedimientos-Constructivos-1>. Revestimientos
página 19.

<http://www.terra.org/articulos/art01192.html>

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n38/nt02.html>

<http://www.historiang.com/articulo.jsp?id=2554856>

<http://es.scribd.com/doc/47627061/Revist-National-geographic-historia-el-Imperio-medio>

<http://whc.unesco.org/en/list/444>

http://redproterra.org/index.php?option=com_glossary&func=display&letter=A&Itemid=18&catid=7&page=1

<http://es.scribd.com/doc/77916979/Arquitectura-de-Tierra-en-Iberoamerica>

<http://www.hita.es/web/>

<http://www.tesisenred.net/>

<http://craterre.org/>

<http://www.csic.es/web/guest/home;jsessionid=7169E7A30FBF99DFF03A00C7A6A4DD4D>

<http://www.catastro.meh.es/>

<http://tectonicablog.com/?p=52731>

ANEXO

Terminología

En las siguientes páginas se presenta, a modo de ayuda, algo de la terminología más usual en arquitectura de tierra, para un mejor entendimiento del trabajo.⁸

ABANCAL_ Molde para fabricar adobes.

ABRAZADERAS_ Pieza metálica que ayuda a que las tablas de encofrado de la tapia no se abran.

ADOBE_ Consiste en una masa de barro, frecuentemente mezclada con paja, moldeada con forma prismática, sin cocer, secada al aire, empleada en la construcción de muros de fábrica, paredes y tabiques.

ADOBERA_ Molde para hacer adobes, normalmente de madera.

ADOBILLO_ Sistema constructivo mixto a base de tierra y madera. Consiste en adobes a modo de relleno entre la estructura vertical de madera. Un tamaño típico es 0,50 X 0,10 X 0,15 m., confinados mediante muescas verticales de 25 X 25 mm.

AGUA DE PALETA DE TUNA_ Estabilizante de procedencia natural utilizado con el agua de amasado de los revocos de barro.

AMARRE_ Forma de colocar los adobes en la construcción de los muros. Este concepto se utiliza para señalar la unión entre dos o tres bloques longitudinales.

ARCILLA_ Fracción de la tierra con una tamaño de partícula inferior a 0'002 mm. Es la que otorga cohesión a la mezcla de barro.

ASFADOBE_ Adobe estabilizado con asfalto.

BADILEJO_ Herramienta utilizada para eliminar la tierra pegada al molde.

BAHAREQUE_ Técnica constructiva de muros que emplea la madera y/o la caña como elementos estructurales, rellenos con tierra mezclada con paja u otro tipo de fibras.

8

http://redproterra.org/index.php?option=com_glossary&func=display&letter=B&Itemid=18&catid=7&page=1

BARBOTINA_ Barro muy líquido que mezclado con caña larga de cereal u otras fibras se utiliza para formar bloques muy aislantes, de poco peso.

BARRAL_ Lugar dónde existe mucha cantidad de barro.

BARRO_ Masa resultante de mezclar tierra con agua.

BARRO EMPAJADO_ Mezcla de barro con paja.

BARRUCAR_ Revocar un muro con barro.

BATIDERA_ Sinónimo de azada.

BLANQUEADO_ Acabado final normalmente a base de cal o cemento, realizado sobre un revoco o directamente sobre el muro.

BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA_ Técnica constructiva que se considera como una evolución del ancestral adobe en la que el barro se introduce en una prensa (CINVA RAM), dónde se le aplica una presión de compactado y adquiere altas resistencias a compresión. Normalmente los BTC están estabilizados con cemento.

BLOQUE DE TIERRA RECORTADO_ Sinónimo de Terrón. Bloque directamente recortado de la cantera.

BOLAS DE TIERRA_ Mezcla de barro y paja que se utiliza para la colocación en el muro, después de la elaboración y el secado de las bolas.

BOLLO_ Relleno de muros constituido por paja amasada con barro.

BRENCA_ Espacio que se crea en las tapias de material más resistente, insertada en las juntas, normalmente de cal.

BRIEL_ Vigas entramadas con adobes en la construcción antigua.

CAJÓN_ Cada una de las zonas creadas en las tapias entre los machones o verdugadas de algún otro material más fuerte.

CAÑA_ Tallo hueco que se divide en segmentos por una serie de nudos rellenos cada cierta distancia. Son muy características en los humedales y en las orillas de los ríos.

CANTERA_ Lugar dónde se extrae la tierra para construcción.

CAREAR_ Revestir un muro o un paramento con algún mortero.

CERNIDO_ Capa de mortero de pocos milímetros sobre el revestimiento base aplicado con la ayuda de una llana o plancha de madera.

CESPEDÓN_ Sinónimo de terrón, tepe. Bloque de tierra con raíces dónde, por regla general, el lodo vegetal se coloca había abajo. También llamado "Sod o Soddys".

COB_ Sistema constructivo con tierra que consiste en la formación de muros monolíticos mediante la superposición de pelladas de barro y fibra modeladas simplemente con la mano y directamente en el muro.

COCER_ Dejar reposar el barro después de extraído y humedecido para emplearlo en la construcción de muros.

CODAL_ Pieza de madera colocada en la parte superior de los costales o encofrados, utilizada para mantener erguidas los tableros de los tapiales.

COSTAL_ Cada uno de los listones de madera, que atravesados por las agujas, sirven para mantener las fronteras de los tapiales en posición vertical.

DORMIR_ Dejar reposar la mezcla de tierra con agua durante unas horas para conseguir la homogeneización de sus componentes. En el caso de que haya que añadir fibras, es conveniente añadirlas tras el "dormido".

EMBARRADO_ Revestimiento consistente en la aplicación de mortero de barro sobre un muro o paramento.

EMPELLADO_ Técnica de construcción con tierra que consiste en la elaboración de bolas de barro adicionadas con fibras para formar muros monolíticos. El diámetro suele oscilar entre 15 – 20 cm. y pesan cerca de 4 kg.

ENSORDINADO_ Aislamiento térmico dispuesto entre las tejas de cubierta y el entablado, consistente en una mezcla de barro estabilizada con un alto contenido de fibra, normalmente paja.

ESTABILIZACIÓN_ Técnica utilizada que consiste en la mejora de las propiedades iniciales del barro mediante la adición de algún producto o fibra, natural o sintético. Modifica el comportamiento del barro frente a la acción del agua, la erosión...

ESTANQUEO_ Tipo de entramado sostenido por estacas, relleno y revestido con barro.

ESTUCO_ Pasta de cal apagada y mármol pulverizado, utilizada para el revestimiento de los paramentos, con un espesor mínimo.

FAJINA_ Pared formada por un conjunto de ramas, paja o cañas unidas, recubierta de barro.

GARROTE_ Tensor encargado de ajustar los codales de un tapial.

GUANO_ Estiércol procedente de excrementos animales, utilizado para estabilizar las mezclas de barro en construcción.

GUÁSIMO_ Goma del árbol homónimo que se agrega al barro de construcción.

HORMIGÓN DE TIERRA_ Concepto referido a una mezcla de tierra compuesta por una gran cantidad de áridos gruesos, limos y arcilla.

LANZADA_ Conjunto de adobes apilados.

LÉGAMO_ Barro con alto contenido en arcilla.

LIMO_ Porción de la tierra con un tamaño de partículas comprendido entre 0,063 – 0,002 mm., rico en sílice y pobre en alúmina.

MALHECHO_ Mortero de barro, estabilizado generalmente con cal y muy utilizado para hacer el calicastro.

MAZAMORREAR_ Rellenar las grietas del revestimiento con el fin de regularizar la superficie para su posterior pintado mediante un espeso baño con barro.

MORTERO_ Pasta resultante de la mezcla de un conglomerante con arena y agua. Puede llevar algún tipo aditivo aparte. En el mortero de barro, el aglomerante es la arcilla.

PAJA_ Excedente agrícola, correspondiente con el tallo de plantas como la cebada, el trigo, el centeno...obtenido tras su cosecha.

PARED DE MANO_ Muro monolítico construido por moldeo directo, superponiendo cantidades de barro unas encima de otras.

PARVA_ Porción de tierra utilizada para la elaboración de la pasta de barro en adobes.

PELUJO_ Tipo de fibra de origen animal, resultante del pelo que sobraba tras curtir las pieles de diversos animales. Se utiliza para estabilizar el barro en construcción.

PILERO_ Peón que amasa el barro con los pies.

PISA_ Mezcla de tierra, agua y en su caso, paja, que se pisaba para homogeneizar los componentes y usarse en la elaboración de elementos tales como adobes.

PISÓN_ Instrumento grueso y pesado, de forma cónica o piramidal, provisto de mango y que se utiliza para comprimir la tierra, generalmente de las tapias.

PLOYÉ_ Revoque de tierra, cal o cemento que se coloca sobre muros de bajareque cuyo entramado de sostén es una malla de metal desplegado, alambre u otro tejido metálico.

PODRIR_ Sinónimo de dormir. Consiste en dejar reposar la mezcla de barro y fibras, previa a la elaboración de adobes. Así se consigue una mejor mezcla de los componentes.

QUINCHA_ Técnica constructiva mixta en la que se emplea un entramado de madera como armazón estructural relleno de barro y/o fibras vegetales.

REPELLO_ Capa de mortero aplicada directamente sobre un paramento previamente preparado con un ensabietado.

REVOCAR_ Recubrir una pared con una capa fina de barro o de otro material.

SAZONAR_ Método de preparación de la tierra para construir tapias. Consiste en cavar la tierra y dejarla que se hiele durante el invierno, por nevadas, mojándose durante un periodo de tiempo, hasta estar amorosa.

TAPIA_ Muro monolítico de tierra compactada entre encofrados o tapiales.

TAPIA ACERADA_ La que por cada lado lleva una capa de revoque o mezcla. La pared echa entre tapiales con tierra apisonada y mezcla en sus parámetros, con objeto de darle más dureza y defenderla de la intemperie.

TAPIA CALICASTRADA_ La que contiene piedras pequeñas.

TAPIA DE PELLAS_ Tapia que rellena el cajón con trozos de tierra y los une con mortero de cal. Sólo se ha podido encontrar una en Tordesillas, en la provincia de Valladolid.

TAPIA DE BRENCA_ La que tiene refuerzos de mampostería, yeso o cal en sus juntas.

TAPIA MEJORADA_ Tapia que incluye guijarros, etc., siendo en general, sustancias que ayudan a subsanar las deficiencias de la tierra usada para realizarla.

TAPIA VALENCIA_ La que tiene hiladas de ladrillos que se acusan en sus caras.

TEPE_ Técnica mixta para la elaboración de muros consistente en la extracción directa de bloques del terreno, normalmente con raíces que se colocan hacia abajo, mejorando así la trabazón del conjunto.

TERRA – PALLA_ Revoco de barro y caña de cereal utilizado en el noroeste de España para cerrar estructuras de listón o de tejidos vegetales.

TRULLADO_ Mezcla de barro con paja utilizado para revocar los muros de tierra con ayuda de una llana de madera o trulla.

VERDUGADA_ Hilada de ladrillos o bloques de adobe utilizada para reforzar la tapia de tierra. Mejora notablemente la resistencia de éstas frente a fuerzas sísmicas horizontales.